

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Lukáš Richtár

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského  
inženýrství

IQMESH síť pro monitorování teplot a  
koncentrace CO

IQMESH Network for Temperature and  
Concentration of CO Monitoring

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Lukáš Richtár**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma:

**IQMESH síť pro monitorování teplot a koncentrace CO**  
**IQMESH Network for Temperature and Concentration**  
**of CO Monitoring**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudování technologie IQRF, tvorby a provozování sítě IQMESH.
2. Návrh a realizace IQMESH sítě pro monitorování teplot a koncentrace CO.
3. Návrh a implementace systému pro archivaci a vizualizaci naměřených hodnot.
4. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat s ohledem na definované alarmní stavy.
5. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty, senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] MICRORISC s.r.o. *IQRF Quick Start Guide*. [online]. © 2015 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org>.
- [3] MICRORISC s.r.o. *IQRF Cloud Server - Technical guide*. [online]. © 2015 [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org>.
- [4] MICRORISC s.r.o. *TR-54D Transceiver Module*. [online]. © 2014 [cit. 2014-11-03] Dostupné z: <http://www.iqrf.org>.
- [5] MICRORISC s.r.o. *IQRF OS Operating System Version 3.08D for (DC)TR-5xD - User's Guide*. [online]. © 2016. [cit. 2016-10-03] Dostupné z: <http://www.iqrf.org>.
- [6] MICRORISC s.r.o. *IQRF DPA Framework - Technical Guide*. [online]. © 2016 [cit. 2016-09-12] Dostupné z: <http://www.iqrf.org>.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radovan Hájovský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



---

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 28.4.2017

Podpis 

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, kterým byl pan Ing. Radovan Hájovský, Ph.D., za vhodnou metodickou a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce a za zajištění podmínek pro měření. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Martinovi Piešovi, Ph.D. za dodatečné konzultace a předání vlastních zkušeností a vědomostí souvisejících s problematikou IQRF technologie.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na realizaci a implementaci monitorovacího systému důsledků termických procesů na starých důlních odvalů, ke kterým patří především vysoká teplota a koncentrace nebezpečných plynů. K realizaci byla použita technologie IQRF. Technologie přináší v souvislosti s touto problematikou řadu výhod. Mezi ty největší se řadí hlavně nízká energetická náročnost systému a taky velká robustnost. Diplomová práce se současně také zabývá zpracováním, vizualizací a archivací naměřených dat.

Systém byl implementován na vybraném důlním odvale. Na těchto lokalitách stále probíhají termické procesy a je potřeba jejich důsledky neustále monitorovat.

V rámci diplomové práce byla také vytvořena aplikace, která zajišťuje okamžité informování o překročení nastavených limitní stavů měřených veličin.

## **Abstract**

This thesis is focused on the realization and implementation of the monitoring system consequences of thermal processes on old mines, which include predominantly the high temperature and concentration of dangerous gases. IQRF technology has been used for implementation. The technology brings many benefits in connection with this issue. The low energy intensity of the system and high robustness belong between the biggest benefits. Thesis also deals with processing, visualization and archiving of measured data.

The system was implemented at a selected mining dump. Thermal processes are still under way in these locations, and their consequences need to be constantly monitored. In the course of this thesis an application was created, which provides immediate information about exceeding the set limit states of the measured quantities.

## **Klíčová slova**

IQRF, IQMESH, monitorovací systém, termické procesy, vizualizace, senzory, zpracování dat, důlní odvaly

## **Keywords**

IQRF, IQMESH, monitoring system, thermal processes, vizualization, sensors, data processing, mining dump

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	8
Seznam ilustrací .....	9
Seznam tabulek .....	11
Úvod.....	12
1 Teoretická část .....	13
1.1 Seznámení s IQRF.....	13
1.2 Operační systém IQRF OS.....	14
1.3 Rozhraní .....	14
1.3.1 Rozhraní SPI .....	15
1.3.2 Rozhraní UART .....	16
1.4 Tvorba aplikací pro IQRF moduly .....	16
1.5 Protokol DPA .....	17
1.5.1 Struktura DPA příkazů.....	17
1.6 Topologie sítí .....	18
1.6.1 Počet zařízení .....	19
1.7 IQRF Cloud.....	19
1.8 IQRF Gateway.....	20
1.8.1 Ethernetová brána.....	20
1.8.2 GSM brána .....	20
1.8.3 WiFi brána.....	21
1.9 Měření teploty .....	21
1.9.1 Odporové kovové senzory teploty.....	22
1.9.2 Polovodičové odporové senzory teploty .....	24
1.9.3 Monolitické PN senzory teploty.....	25
1.9.4 Termoelektrické senzory teploty .....	26
1.9.5 Digitální senzory pro měření teplot.....	28
1.10 Měření koncentrace CO .....	29
1.10.1 Chemické vodivostní senzory .....	29



1.10.2	Elektrochemické senzory .....	30
2	Praktická část .....	32
2.1	Návrh monitorovacího systému.....	32
2.2	IQRF měřicí moduly .....	32
2.3	Testování funkčnosti a kalibrace IQRF nodu pro měření koncentrace CO.....	36
2.4	Energetická náročnost měřicího systému .....	43
2.4.1	Analýza energetické náročnosti.....	43
2.5	Instalace systému na důlním odvale Hedvika .....	47
2.6	Zpracování a archivace dat.....	52
2.7	Vizualizace naměřených dat.....	55
2.8	Analýza pilotního provozu .....	56
2.8.1	Analýza úspěšnosti přijetí dat na IQRF Cloud .....	56
2.8.2	Analýza naměřených dat .....	58
	Závěr .....	60
	Literatura .....	61
	Seznam příloh na CD .....	62

## Seznam použitých symbolů a zkratek

CO	Oxid uhelnatý
EEPROM	Elektronicky vymazatelná paměť pouze pro čtení (Electrically Erasable Programmable Read - Only Memory)
LED	Světlo vyzařující dioda (Light Emitting Diode)
SIM	Identifikační karta v mobilní síti (Subscriber Identity Module)
OS	Operační systém
GPRS	Služba uživatelů mobilní sítě umožňující přenos dat (General Packet Radio Service)
WiFi	Bezdrátová komunikace v počítačových sítích
CSV	Souborový formát pro výměnu tabulkových dat oddělených čárkou
DPA	Protokol využívaný v sítích IQRF (Direct Peripheral Access)
API	Rozhraní pro programové aplikace (Application Programming Interface)
PHP	Programovací jazyk pracující na straně serveru
USB	Universální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
GSM	Globální systém pro mobilní aplikace
ppm	Výraz pro jenu miliontinu celku („Parts per million“)
$\alpha$	Teplotní součinitel odporu (-)
R	Odpor ( $\Omega$ )
$R_0$	Odpor při teplotě 0°C ( $\Omega$ )
t	Teplota (°C)

## Seznam ilustrací

Obrázek 1: Model transceiveru TR-54D <sup>[11]</sup> .....	13
Obrázek 2: Příklad jmenné konvence <sup>[11]</sup> .....	14
Obrázek 3: Ukázka SPI komunikace <sup>[2]</sup> .....	15
Obrázek 4: Připojení dvou zařízení pomocí rozhraní UART .....	16
Obrázek 5: Struktura DPA příkazů <sup>[3]</sup> .....	17
Obrázek 6: Ukázka jednotlivých topologií (a - přímé spojení ; b - hvězda ; c - strom ; d - MESH) <sup>[1]</sup> .....	18
Obrázek 7: IQMESH síť <sup>[1]</sup> .....	19
Obrázek 8: GW-ETH-02A <sup>[11]</sup> .....	20
Obrázek 9: GW-GSM-02A <sup>[11]</sup> .....	20
Obrázek 10: GW-WIFI-01 <sup>[11]</sup> .....	21
Obrázek 11: Platinový odporový teploměr (a-drátkový, b-tenkovrstvý) <sup>[6]</sup> .....	22
Obrázek 12: Dovolené tolerance průmyslových Pt <sub>m</sub> čicích odporů <sup>[6]</sup> .....	23
Obrázek 13: Závislost charakteristiky PN přechodu diody pro různé teploty <sup>[6]</sup> .....	26
Obrázek 14: Seebeckův jev <sup>[7]</sup> .....	26
Obrázek 15: Statické charakteristiky různých druhů termočlánků <sup>[6]</sup> .....	28
Obrázek 16: DS18B20 .....	29
Obrázek 17: Schématické znázornění vodivostního senzoru <sup>[12]</sup> .....	30
Obrázek 18: Chemický vodivostní senzor TGS2442 pro detekci oxidu uhelnatého .....	30
Obrázek 19: Senzor pro měření koncentrace CO - TGS5042 .....	31
Obrázek 20: Blokové schéma systému s vizualizací pomocí PHP .....	32
Obrázek 21: IQRf nod pro měření teploty pomocí senzoru DS18B20 .....	33
Obrázek 22: Změřená data zaslaná měřicími uzly pro měření teploty na IQRf Cloud .....	34
Obrázek 23: IQRf nod pro měření koncentrace CO pomocí senzoru Figaro TGS5042 .....	34
Obrázek 24: 1. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1460 .....	37
Obrázek 25: 2. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1520 .....	38
Obrázek 26: 3. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1443 .....	39
Obrázek 27: Ukázka testu funkčnosti IQRf nodu pro měření oxidu uhelnatého .....	39
Obrázek 28: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1520 .....	40
Obrázek 29: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1460 .....	41
Obrázek 30: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1443 .....	42
Obrázek 31: Průběh proudu při napájení přes USB konektor (se zapojeným interním akumulátorem) .....	44
Obrázek 32: Průběh proudu při napájení v STD režimu při napájení na svorkách pro baterii .....	44
Obrázek 33: Průběh proudu při napájení v LP režimu při napájení na svorkách pro baterii .....	45
Obrázek 34: Průběh proudu při napájení v LP režimu při komunikaci s 9 nody .....	45
Obrázek 35: Závislost počtu připojených měřicích uzlů na počtu impulsů .....	46

Obrázek 36: Měřicí sondy s teplotním čidlem DS18B20 připravené pro instalaci .....	47
Obrázek 37: Sonda pro měření koncentrace oxidu uhelnatého .....	48
Obrázek 38: Ukázka připevnění teplotní sondy na důlním odvale Hedvika .....	48
Obrázek 39: Ukázka připevnění sondy pro měření koncentrace CO na důlním odvale Hedvika .....	49
Obrázek 40: Rozložení IQMESH sítě .....	49
Obrázek 41: Rozmístění sond a GW okolo haly .....	50
Obrázek 42: Ukázka z IQRF Cloudu - "discovery" - dotaz + odpověď .....	50
Obrázek 43: : Ukázka z IQRF Cloudu - dotazy pro tvorbu mapy IQMESH sítě .....	51
Obrázek 44: Vytvořená mapa IQMESH sítě .....	51
Obrázek 45: Příklad alarmních SMS varujících na vysokou teplotu .....	54
Obrázek 46: Ukázka webové stránky .....	55
Obrázek 47: Ukázka vizualizace průběhů na webové stránce .....	56
Obrázek 48: Úspěšnost odesílání .....	57
Obrázek 49: Průběh měřené veličiny u sondy číslo 4 .....	58
Obrázek 50: Histogram četnosti zastoupení jednotlivých teplot při měření sondou číslo 4 .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Závislost množství koncentrace CO na zdravotní stav člověka <sup>[8]</sup> .....	31
Tabulka 2: Paket pro vyčtení hodnoty ze snímače (v hexadecimálním tvaru) <sup>[14]</sup> .....	33
Tabulka 3: Paket pro vyčtení hodnoty ze snímače (v dekadickém tvaru) <sup>[14]</sup> .....	33
Tabulka 4: Odpověď v hexadecimálním tvaru <sup>[14]</sup> .....	33
Tabulka 5: Odpověď v dekadickém tvaru <sup>[14]</sup> .....	33
Tabulka 6: DPA paket pro zápis do EEPROM u IQRF notu pro měření koncentrace CO (hexadecimální tvar) <sup>[14]</sup> .....	35
Tabulka 7: DPA paket pro zápis do EEPROM u IQRF notu pro měření koncentrace CO (dekadický tvar) <sup>[14]</sup> .....	35
Tabulka 8: Odpověď hexadecimálním tvaru <sup>[14]</sup> .....	35
Tabulka 9: Odpověď v dekadickém tvaru <sup>[14]</sup> .....	35
Tabulka 10: 1. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1460 .....	36
Tabulka 11: 2. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1520 .....	37
Tabulka 12: 3. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1443 .....	38
Tabulka 13: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1520 .....	40
Tabulka 14: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1460 .....	41
Tabulka 15: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1443 .....	42
Tabulka 16: Počet impulzů v závislosti na počtu připojených měřicích uzlů .....	46
Tabulka 17: Vytvořená tabulka pro vytvoření mapy IQMESH sítě .....	51
Tabulka 18: Úspěšnost odesílání .....	57
Tabulka 19: Četnost výskytu jednotlivých teplot o měřicího uzlu číslo 4 .....	58

## Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvoření systému pro monitorování, archivaci a vizualizaci fyzikálních veličin (především teploty a koncentrace oxidu uhelnatého) na místech zasažených důlní činností, jako například důlní odvaly. Tyto lokality je nutno z bezpečnostních hledisek nepřetržitě monitorovat. V řadě případů je přístup možný i pro veřejnost. Z tohoto důvodu je nutné zajistit přímou informovanost příslušných osob, pokud dojde k překročení limitních stavů měřených veličin. Pro vytvoření nového monitorovacího systému je využita technologie IQRf, která je vhodná především díky své nízké energetické náročnosti. Další výhodou tohoto způsobu bezdrátové komunikace je dobrá robustnost systému vzhledem k topologii sítě, kterou využívá.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část slouží k seznámení se s technologií IQRf a problematikou související s tvorbou monitorovacích systémů.

Praktická část se zabývá návrhem, realizací a implementací monitorovacího systému na vybrané lokalitě včetně analýzy, vizualizace a archivace dat.

První kapitola pojednává o návrhu monitorovacího systému na zmíněných lokalitách. Další 2 kapitoly objasňují nastavení prvku sítě za účelem vytvoření fungující IQRf sítě.

Součástí diplomové práce je implementace monitorovacího systému do reálného prostředí. Vzhledem k množství míst vhodných pro instalaci měřicího systému musí být kladen důraz i na způsob napájení vzhledem ke spotřebě elektrické energie, jelikož ne vždy je k dispozici elektrická síť. Tato problematika je popsána v kapitole čtvrté.

V dalších kapitolách se práce zaměřuje nejprve na implementaci navrženého monitorovacího systému do reálného prostředí a následně popisuje analýzu a zpracování naměřených dat s cílem zjistit úspěšnost měření a odeslání dat. V případě, že měřené veličiny překročí předem stanovenou mez, musí dojít k okamžitému informování příslušných osob.

Následující kapitola diplomové práce vysvětluje vytvořenou vizualizační aplikaci naměřených dat formou dynamických webových stránek. V případě překročení stanovené limity dojde k vizuální informaci na webových stránkách a k informování příslušných osob e-mailem a SMS zprávou.

Veškerá naměřená data jsou archivována v databázi a lze je v případě potřeby později analyzovat pomocí libovolných softwarových nástrojů.

V závěrečné kapitole se nachází zhodnocení práce, shrnutí dosažených výsledků a objasnění přínosu práce pro projekty zabývající se problematikou monitorování termických procesů v lokalitách zasažených důlní činností.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Seznámení s IQRF

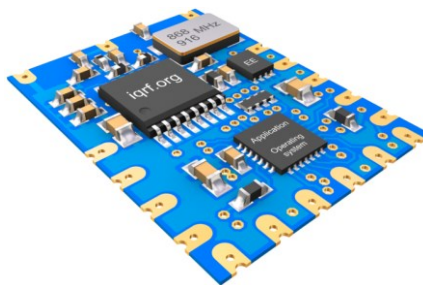
IQRF je platforma české firmy MICRORISC s.r.o. Zabývá se inteligentním bezdrátovým připojením, které se vyznačuje nízkými přenosovými rychlostmi, menšími objemy dat a především velmi malou proudovou spotřebou. IQRF systémy jsou výkonné, spolehlivé, bezpečné a velice snadno se používají. Tyto systémy jsou vhodné pro libovolná elektrická zařízení s potřebou přenášet data (dálkové ovládání, monitorování, alarm, zobrazování a zpracování dálkově pořízených dat).

Platforma IQRF vznikla v roce 2004 na základě těchto myšlenek:

- Lehký, ale dobře koncipovaný protokol,
- dobře propojitelné nezávislé sítě jsou efektivnější než jedna obří síť,
- strukturování, řetězení a hierarchie umožňují menší provoz i spotřebu,
- vysílací výkon nemá zdaleka takový význam, jako softwarové záležitosti (kódování, časování, routování, koordinace, ...).

Sítě IQRF využívají bezlicenční pásmo 868 MHz a 433 MHz (v USA 916 MHz). Velikou výhodou IQRF je nízká spotřeba energie. V případě přijímání dat se proud potřebný k napájení pohybuje okolo 12,3 mA a v úsporném režimu („sleep“) je spotřeba rovna přibližně 380nA.

Základem IQRF jsou tzv. transceivery. Jedná se o malá zařízení, které svou velikostí připomínají SIM kartu. Součástí těchto plošných spojů jsou všechny prvky potřebné pro RF komunikaci. Některé transceivery jsou uzpůsobené pro zasunutí do konektorů SIM, další je možné zase připájet na jiný plošný spoj.



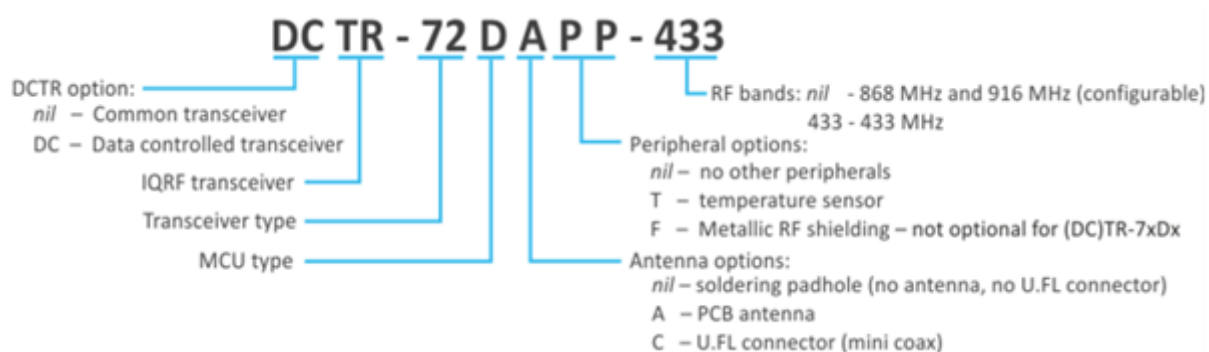
Obrázek 1: Model transceiveru TR-54D<sup>[11]</sup>

Jak je patrné na předchozím obrázku, transceiver se skládá z několika částí. Mezi ty hlavní patří třeba RF transceiver, řídicí mikrokontroler, externí paměť EEPROM, piny pro připojení dalších zařízení nebo např. senzor teploty.

- RF transceiver – slouží k bezdrátovému odesílání a příjmu dat pomocí rádiových vln,
- řídicí mikrokontroler – umožňuje běh uživatelského programu nebo programových aplikací,
- zelená a červená LED dioda – zajišťuje indikaci různých stavů. Je také vhodná pro indikaci správného připojení,
- paměť EEPROM – jedná se o externí paměť,

- teplotní senzor – umožňuje jednoduše měřit a odesílat teplotu bez připojení jiných periferních zařízení.

Každý transceiver je označen kódem složeným z písmen a číslic, ze kterého je možné zjistit, zda např. obsahuje teplotní senzor, zda je určen k připojení k perifernímu zařízení nebo je určen pro zasunutí do konektoru SIM. Další se zase mohou lišit v možnosti použití externí antény. Všechny tyto varianty a jejich kombinace jsou určeny pomocí konvence, která je znázorněna na následujícím obrázku. <sup>[1]</sup>



Obrázek 2: Příklad jmenné konvence <sup>[1]</sup>

## 1.2 Operační systém IQRF OS

Pro platformu IQRF je vyvinut operační systém z názvem IQRF OS. Programování zařízení IQRF je velice obdobné programování běžných mikrokontrolerů. Výhodou programování IQRF je ovšem možnost využití tzv. vestavěných funkcí operačního systému. Tyto funkce jsou nahrány v transceiverech. Mezi nejčastěji používané řadíme např. komunikaci bezdrátovou nebo komunikaci pomocí rozhraní SPI nebo UART.

Se základními znalostmi elektrotechniky a schopností programovat v jazyce C je možnost nastavení, monitorování a ovládání IQRF zařízení programově. <sup>[1]</sup>

## 1.3 Rozhraní

Rozhraním se rozumí způsob komunikace s určitým systémem. Jedná se o fyzickou hranici mezi zařízeními. Komunikace je zajištěna díky definovaným elektrickým signálům, konektorům, časové synchronizaci, kódům nebo protokolům, které jsou pro jednotlivá rozhraní odlišná.

U zařízení, která využívají IQRF technologie, jsou nejčastěji používaná rozhraní SPI a UART. Další rozhraní podporované touto technologií je I2C.

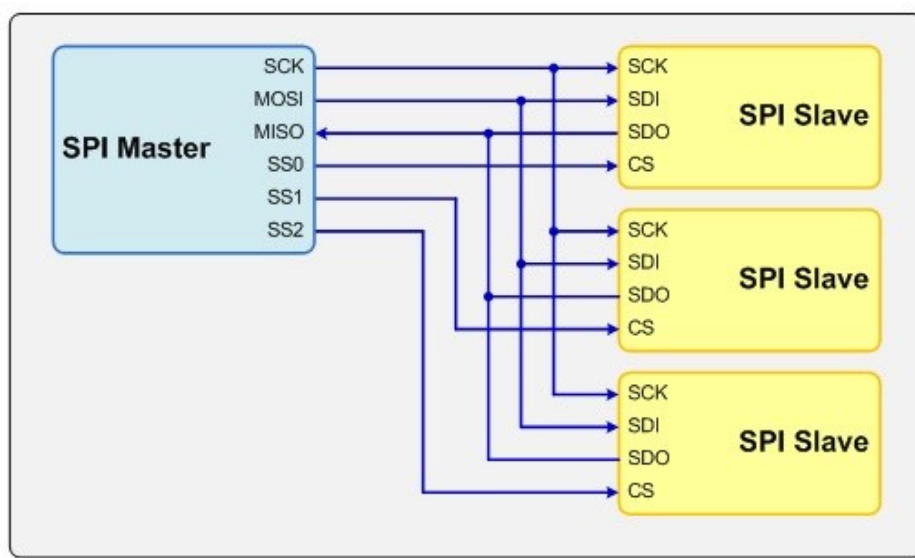


### 1.3.1 Rozhraní SPI

Rozhraní SPI je velice jednoduché rozhraní, které můžeme aplikovat v oblasti mikrokontrolerů. Nabízí se zde velká škála uplatnění. Zkratka SPI odpovídá spojení „Serial Peripheral Interface“. Jak už vyplývá z názvů, jedná se o sériovou komunikaci.

SPI komunikace se především využívá pro připojení periférií k mikrokontroleru, A/D převodníků, pamětí, čidel různých veličin, displejů a mnoha dalších. Může také sloužit pro komunikaci mezi mikrokontrolery.

V systému bývají zapojeny dva nebo i více obvodů, kdy jeden z nich reprezentuje typ Master. Zpravidla se jedná o procesor. Zbylé obvody (jeden nebo více) jsou typu Slave, jak je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 3: Ukázka SPI komunikace<sup>[2]</sup>

Pro propojení obvodu typu Master a obvodu typu Slave se využívá čtyř komunikačních linek:

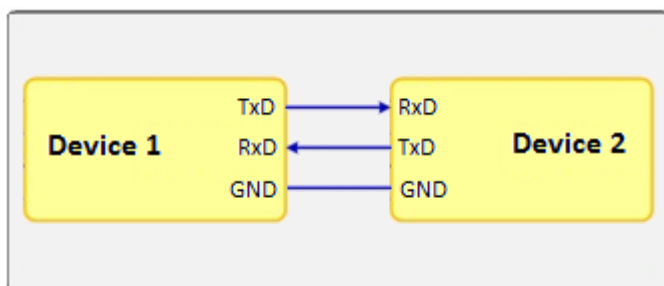
- SCK – výstup hodinového signálu obvodu Master je potřeba připojit jako vstup všech obvodů typu Slave pro zajištění správného časování,
- MOSI – zkratka pro „Master Output, Slave Input“ – jednosměrný přenos dat (z obvodu Master do obvodu Slave),
- MISO – zkratka pro „Master Input, Slave Output“ – jednosměrný přenos dat (z obvodu Slave do obvodu Master),
- SS – zkratka pro „Slave Select“ – slouží pro výběr obvodu.

### 1.3.2 Rozhraní UART

UART patří také do kategorie sériových komunikací. Zkratka UART znamená „Universal Asynchronous Receiver Transmitter“, což by se dalo volně přeložit jako univerzální asynchronní přijímač/vysílač.

Ke komunikaci dochází pomocí dvou pinů, které se většinou označují jako „RX“ (receive) a „TX“ (transmit). Hodinový signál CLK, který se využívá u rozhraní SPI, tentokrát není potřeba, jelikož se jedná o asynchronní komunikaci a každý vysílač i přijímač obsahuje generátor hodin. Rychlost těchto hodin je možno řídit vzhledem k této komunikaci, která je, jak již vyplývá z názvu, univerzální. Pokud komunikace obsahuje i synchronní režim, mluvíme o USART.

Rozdíl mezi UART a RS232 je, že RS232 definuje elektrické rozhraní pro komunikaci mezi dvěma zařízeními včetně jejich parametrů (napěťové úrovně, doplňkové signalizace a jiné), zatímco UART definuje komunikační protokol, respektive chování komunikačního logického obvodu.



Obrázek 4: Připojení dvou zařízení pomocí rozhraní UART

U zařízení IQRF je prostřednictvím rozhraní UART zasílána zpráva obsahující 8 datových bitů a jeden stop bit. Žádné paritní bity nejsou v případě užití IQRF odesílány. Vyrovnávací paměť TX i RX je rovna 64B.

## 1.4 Tvorba aplikací pro IQRF moduly

Plnění požadovaných úkolů moduly je možné jen na základě aplikace, která je uložena v jejich paměti. Aplikace bývají programovány v jazyce C. Na stránkách výrobce lze shlédnout řadu příkladů vysvětlující tvorbu aplikací pro zařízení využívající IQRF technologie. Aplikace se zapisuje do Flash paměti modulu, kde je pro ně vyhrazena určitá část.

Po vytvoření programu v jazyce C je před nahráním potřeba kód ještě zkompileovat. Platforma IQRF doporučuje jako kompilátor nástroj B Knudsen Data (CC5X). K dispozici je také volně šiřitelná verze, která však obsahuje určitá omezení nepodporující plnohodnotné výpočty. Příkladem omezení je podpora maximální šířky datového typu float na 3B (integer na 2B). V případě potřeby je možno kompilátor zakoupit.<sup>[9]</sup>

Pro jednodušší tvorbu aplikací je dostupný software IQRF IDE, který obsahuje vše potřebné pro práci s IQRF zařízeními (součástí je i kompilátor). S použitím nástroje IQRF IDE je možná také integrovat bezdrátové MESH sítě do zařízení obsahující IQRF technologie bez nutnosti jakéhokoliv programování.

## 1.5 Protokol DPA

DPA, neboli „Direct Peripheral Access“, je protokol využívaný v sítích IQRF, který se využívá pro řízení služeb a periférií zařízení. Pro používání DPA protokolu není potřeba nic programovat, jelikož se jedná o jednoduchý bytově orientovaný protokol a ovládání se řeší pomocí dat zaslaných do bezdrátové sítě přes vhodnou aplikaci.

IQRF transceivery obsahují tři základní vrstvy, kdy první, a základní, je operační systém. Implementace operačního systému probíhá již při výrobě transceiveru. Uživatel má možnost jednoduché aktualizace tohoto systému. Druhá vrstva transceiverů, DPA vrstva, obsahuje plug-in soubory. Jsou to soubory vytvořené výrobcem zařízení a slouží pro nahrání do transceiveru IQRF, kdy je z něj vytvořen například koordinátor nebo nod. Těmito souborům se jinak také říká „HWP“, neboli „Hardware profiles“.

Poslední vrstva obsahuje kompilovatelný program napsaný v jazyce C. Díky tomuto souboru se přizpůsobí chování požadavkům uživatele. Takovýmto souborem může být např. „Custom DPA Handler“.

Pokud se jedná o jednodušší aplikace, není třetí vrstva vůbec potřeba a postačí pouze operační systém a DPA vrstva, kdy jsou pomocí DPA protokolu pouze vysílány potřebná data danou strukturou.<sup>[1]</sup>

### 1.5.1 Struktura DPA příkazů

NADR	PNUM	PCMD	HWPID	PDATA
Síťová adresa zařízení	Číslo periferie	Příkaz pro příslušnou periferii	Identifikace hardware	Volitelná data

Obrázek 5: Struktura DPA příkazů<sup>[3]</sup>

*Pole NADR (2B) – síťová adresa – může obsahovat hodnoty 0×00 (Koordinátor), 0×01 – EF (adresy Nodů), 0×FF (broadcast), 0×FE (dočasná adresa), 0×FC („localdevice“), ostatní adresy jsou rezervované.*

*Pole PNUM (1B) – číslo periferie – např. 0×02 – OS, 0×03 – EEPROM, 0×04 – EEPROM, 0×05 – RAM, 0×06 – LEDR, 0×07 – LEDG, 0×08 – SPI, 0×09 – IO, 0×0A – teploměr, 0×0D – FRC, 0×20–6F – uživatelské periferie.*

*Pole PCMD (1B) obsahuje kód příkazu, který přísluší zvolené periferii. Může obsahovat hodnoty 0×00–0×3E.*

*Pole HWPID (2B) slouží k filtrování cílového hardware. V případě, že je zde uvedena hodnota 0×FFFF, tak k filtrování nedochází.*

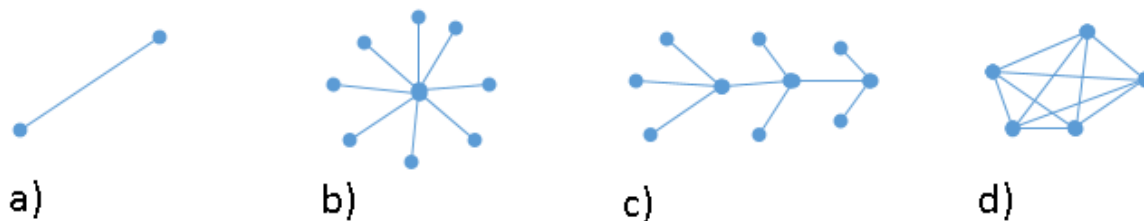
Pole **PDATA** může obsahovat až 56 bajtů uživatelských dat (v aktuální DPA verzi).<sup>[3]</sup>

## 1.6 Topologie sítí

Nejjednodušším a nejzákladnějším způsobem komunikace je přímé spojení, neboli „Point to point“. Nastavení takovéto komunikace je sice velice jednoduché, avšak souvisí s tím řada nevýhod, jako například omezená vzdálenost a podobně. Další topologie, podobná předchozí, se nazývá hvězda, neboli „Star“. Obě sítě mají podobné vlastnosti, avšak u topologie hvězda komunikuje s hlavním uzlem více zařízení a veškerá komunikace proudí přes něj.

Pro větší vzdálenost komunikace existuje vhodnější topologie, tzv. strom („Tree“). Princip spočívá na faktu, že hlavní uzel má několik podřazených uzlů a ty zase mají za sebou další a celá topologie se pak větví, jak už vyplývá z názvu, jako strom. U tohoto druhu komunikace je však hlavní nevýhoda ta, že pokud jeden z podřazených uzlů hlavnímu přestane fungovat, zamezí se tak komunikaci všeho, co je za ním.

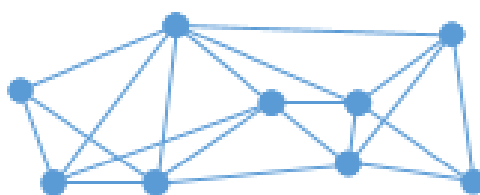
Nedostatky topologie strom řeší poslední typ sítí, síť MESH. Tato topologie spočívá na propojení každého uzlu se všemi prvky komunikace. Toto je velmi výhodné a v případě, že některý z uzlů ztratí spojení s jiným, například v důsledku zamezení přímé viditelnosti mezi nimi, najde si jinou z několika možných cest, kterou zprávu doručí. V případě poruchy jednoho uzlu zbytek sítě funguje standardně a nedochází tak k přerušení komunikace větší části sítě.<sup>[1]</sup>



Obrázek 6: Ukázka jednotlivých topologií (a - přímé spojení ; b - hvězda ; c - strom ; d - MESH)<sup>[1]</sup>

Topologie, kterou využívají IQRF zařízení se nazývá IQMESH. Tento protokol vyvinula společnost MICRORISC s.r.o. IQMESH je založena právě na topologii MESH s tím rozdílem, že vzhledem k rozsáhlosti IQRF sítí, není možné zajištění spojení se všemi uzly (dále „nody“), ale zajišťuje se spojení se všemi uzly v dosahu. V případě zamezení přímé komunikace mezi uzly je zpráva doručena pomocí jiných uzlů, obdobně jako u topologie MESH. Důležitým poznatkem se považuje i fakt, že každý uzel (transceiver) musí vysílat ve svém časovém intervalu, aby nedošlo k rušení komunikace.

Hlavní řídicí transceiver (koordinátor) se dotazuje ostatních transceiverů (nodů) a ty dotaz přijmou a ve svém časovém intervalu jej synchronně odesílají dál, tak aby došlo k dotázání všech prvků komunikace. Následně dojde k synchronní odpovědi na zprávu.<sup>[1]</sup>



**Obrázek 7: IQMESH síť<sup>[1]</sup>**

Díky svému principu se IQMESH síť považuje za velice robustní a zajišťuje velmi spolehlivou komunikaci i v případě, že dojde k jejímu narušení a k zamezení komunikace mezi několika uzly.

### **1.6.1 Počet zařízení**

Vzhledem k tomu, že při komunikaci se využívá protokol DPA, je možno vybudovat síť, kde bude maximálně 240 zařízení (mezi zařízení se řadí i koordinátor). V případě pokročilejších aplikací lze vybudovat více sítí a propojit je.

Z principu IQMESH protokolu s dvoubajtovým adresováním je možno pracovat až s 65000 zařízeními. Jejich dosah může být i několik stovek metrů, záleží ovšem na terénu a na viditelnosti jednotlivých zařízení, tak aby mohla probíhat komunikace (podle principu IQMESH sítí).

## **1.7 IQRF Cloud**

Jedná se o datové uložisko určené pro výměnu dat mezi koncovými zařízeními sítě IQRF a internetem. K odesílání hodnot na IQRF Cloud je potřeba mít koordinátor IQRF sítě podporující internetové připojení (Ethernet, GPRS nebo WiFi). IQRF Cloud tak může sloužit pro jednoduché uchování dat, ke kterým se pak díky internetu dá přistupovat odkudkoli.

Pro případné zpracování dat nebo uložení v jiné databázi, se využívá převodu z IQRF Cloudu dvěma způsoby. Prvním způsobem dochází k přímému stahování dat z webového rozhraní v určitých intervalech (podle množství naměřených dat či frekvence měření) z IQRF Cloudu přímo do počítače. Data se ukládají ve formátu CSV, jejichž analýzu lze provést v různých softwarech.

Druhým způsobem se data vyčítají pomocí API, neboli rozhraní pro programové aplikace, kdy je možné využít mnoho nástrojů, jako jsou například PHP, JavaScript a podobně. Tento způsob se jeví pro automatizované aplikace výhodnější a pro vyčítání nebo zapisování dat z IQRF Cloudu slouží několik API příkazů. Pro vyčítání hodnot z IQRF Cloudu existuje více způsobů s možností nastavení, zda se bude vyčítat vždy určitý počet posledních dat nebo zda se budou vyčítat pouze doposud nevyčtené prvky a podobně.

## 1.8 IQRF Gateway

Po vytvoření monitorovacího systému je potřeba mít přístup k naměřeným datům koordinátorem. V případě připojení koordinátora přes USB do počítače je přístup k datům a jejich další analýza a zpracování řešitelná, ale nasazení takového systému se řeší velmi obtížně (minimálně z hlediska energetické náročnosti).

Potřeba sběru dat a jejich odesílání do sítě (např. lokální nebo internetové) bývá řešeno pomocí tzv. bran. IQRF nabízí brány připojující se do sítě třemi způsoby: Ethernet, GSM a WiFi. IQRF brány se liší zejména ve způsobu komunikace mimo IQRF síť.

### 1.8.1 Ethernetová brána



Obrázek 8: GW-ETH-02A<sup>[11]</sup>

Jedná se o bránu uzpůsobenou pro propojení zařízení IQRF a ethernetovou síť. Po připojení k internetu lze vzdáleně sledovat či shromažďovat data prakticky odkudkoliv. Konfigurace brány se provádí v prostředí IQRF IDE přes USB konektor nebo nakonfigurovanou SD kartu.

Po připojení k internetu je možné konfiguraci provést z interního webového serveru.

### 1.8.2 GSM brána



Obrázek 9: GW-GSM-02A<sup>[11]</sup>

Brána sloužící pro propojení sítě IQRF s GSM sítí se označuje jako GW-GSM-02A. Brána komunikuje mimo síť IQRF prostřednictvím GPRS. Konfigurace se realizuje prostřednictvím USB nebo prostřednictvím interního webového serveru.

### 1.8.3 WiFi brána



Obrázek 10: GW-WIFI-01<sup>[11]</sup>

Obdobně jako předchozí typy bran slouží GW-WIFI-01 ke komunikaci sítě IQRF s jinou sítí (v tomto případě se sítí WiFi). Konfigurace WiFi brány se provádí stejně jako konfigurace brány ethernetové.

## 1.9 Měření teploty

*Teplota je veličina, která charakterizuje, zda látka při tepelném kontaktu s jinou látkou bude či nebude v tepelné rovnováze (zda bude či nebude přijímat nebo předávat teplo).*<sup>[4]</sup>

Teplota je prakticky jednou z nejdůležitějších veličin, která se v technické praxi měří a využívá. Ze statistik vyplývá, že hned po měření času se jedná o druhou nejčastěji měřenou veličinu. Informace o teplotě jsou důležité téměř ve všech odvětvích, hlavně v technice, kde je potřeba zjišťování stavu výrobku nebo určité části stroje či zařízení. Důležitá je také teplota samotných procesů apod. Na její velikosti často záleží kvalita výrobku. Způsobů pro její zjištění se naskýtá nepřeberné množství. Teplota se měří pomocí senzorů teploty. Rozřazení zmíněných senzorů poskytuje dělení na dotykové a bezdotykové. Dotykové teploměry se dále dělí do třech kategorií. První z nich jsou dilatační senzory pro měření teploty. Do této kategorie patří teploměry kapalinové, plynové, parní nebo taky bimetalové. Druhou ze tří kategorií jsou senzory elektrické. Kategorie obsahuje senzory odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické a také krystalové. Poslední kategorií, senzory speciální, zahrnují senzory akustické, šumové, magnetické a s tekutými krystaly.

Měření teploty bezdotykovými teploměry je založeno na vyhodnocování tepelného elektromagnetického záření těles. Vychází se z faktu, že každé těleso vyzařuje elektromagnetické záření v případě, pokud jeho teplota převyšuje teplotu absolutní nuly, tedy 0 K. Tyto bezdotykové teploměry

se nazývají pyrometry nebo někdy IČ-teploměry. Pyrometry lze dále ještě delit podle měřené vlnové délky na pyrometry monochromatické, pyrometry pásmové a pyrometry celkového záření. [6]

Vzhledem k tématu této diplomové práce bude rozebráno převážně dotykové měření teploty pomocí senzorů elektrických.

### 1.9.1 Odporové kovové senzory teploty

Tyto odporové kovové senzory pracují na principu závislosti odporu kovu na teplotě. Základem pro zjištění teploty touto metodou je fakt, že u většiny kovů jejich odpor roste s rostoucí teplotou. Pro výpočet je nezbytně nutná znalost teplotního součinitele odporu  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{\delta R}{\delta t} \cong \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (1.1)$$

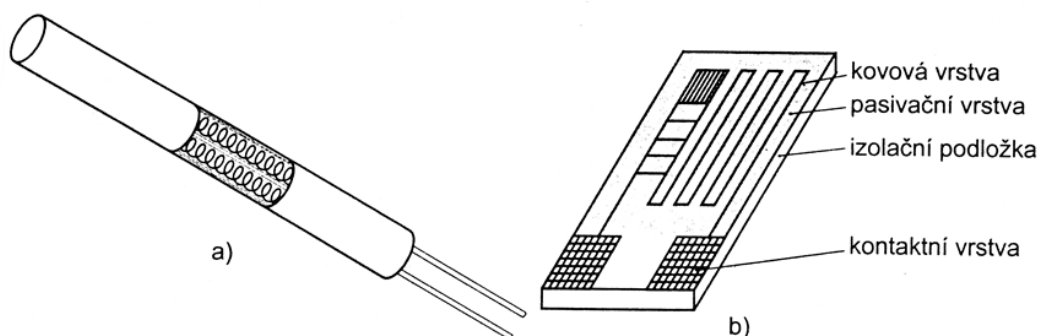
Pokud je rozsah teplot v rozmezí od 0°C po 100°C, možno využít lineární vztahy. Při znalosti teplotního součinitele odporu  $\alpha$  a velikosti odporu při teplotě 0 °C  $R_0$ , lze následujícím vztahem dopočítat odpor kovového materiálu při tázané teplotě  $t$ .

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (1.2)$$

Pro výrobu kovových odporových senzorů teploty (neboli „měřicích odporů“) se používají tři technologie. První technologii nazýváme drátkovou. Senzor vyrobený touto metodou tvoří například stočený platinový drátek. Tento drátek má šířku cca 0,05 mm až 0,007 mm a je uchycen v dutinkách keramických či skleněných tělísek. Z důvodu ochrany se pak celý senzor ukládá do kovové trubičky.

Vzhledem k tomu, že je senzor vyroben z několika různých materiálů (např. platina a keramika), dochází tak k různým tepelným roztažnostem, což není úplně ideální.

Druhá technologie- tenkovrstvá, se často využívá hlavně z důvodu její malé velikosti. Tyto senzory se vyrábí na keramickou destičku, kde se technikou naprašování a iontového leptání daný materiál nanese.



Obrázek 11: Platinový odporový teploměr (a-drátkový, b-tenkovrstvý) [6]

Poslední metodou výroby měřicích odporů je technologie tlustovrstvá. Senzory se vytváří aditivním způsobem nevakuovanými depozičními metodami. Po nanesení materiálu dojde k vypálení



při teplotě okolo 850°C. Po vypálení odpovídá tloušťka vrstvy přibližně stonásobku tloušťky vrstvy vyrobené tenkovrstvou metodou, a je rovna několika desítek  $\mu\text{m}$ .

Při využívání těchto metod měření je také hodně důležité si uvědomit, že k velice podstatné části senzoru se řadí i jeho vývody. Vývody se vyrábí ze speciálních slitin (platina, stříbro, zlato, měď a jiné). Aby se zajistilo co nejpresnějšího měření a zamezilo zkreslení zapříčiněného vlastním odporem přírodních vodičů a vývodů, využívá se pro připojení měřicích odporů několik způsobů. Zpravidla se jedná o připojení dvouvodičové, třívodičové, s pomocnou smyčkou nebo také připojení čtyřvodičové.

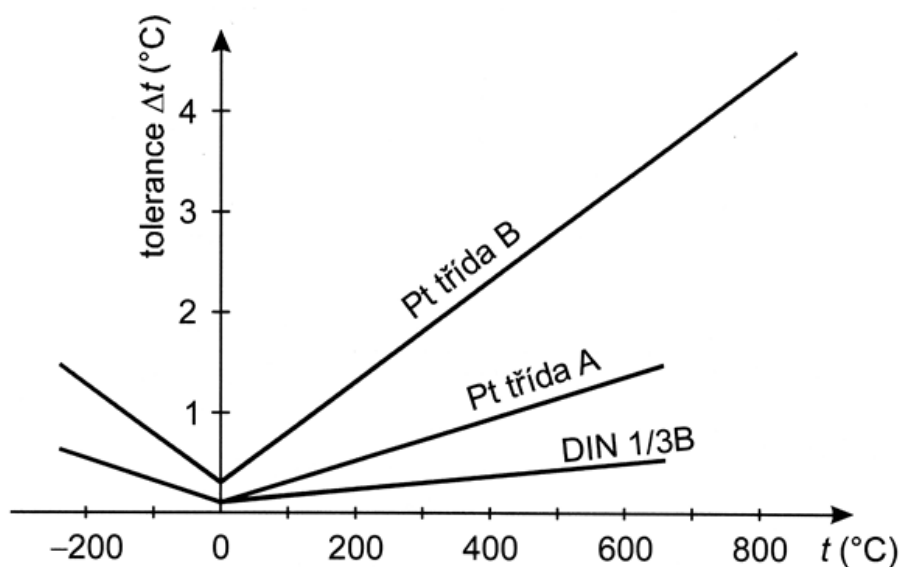
Nejčastěji používané kovy pro tyto snímače jsou v první řadě platina, nikl a měď.

### 1.9.1.1 Platinové senzory teploty

Platinové senzory teploty jsou vhodné pro měření teplot v rozsahu -200°C až 850°C. Využívá se dobrých vlastností platiny, mezi které patří např. chemická netečnost, časová stálost parametrů a taky vysoká teplota tavení, díky čemuž si lze dovolit měření vysoké teploty. Nejčastějšího využití těchto senzorů v praxi je například využití jako ponorný senzor pro měření teplot vody v chladicích nebo topných systémech, měření teploty páry nebo dále v pecích pro tavbu hliníku a spousta dalších.

Výroba platinových senzorů teploty probíhá v několika variantách (Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, Pt2000). Zmíněné senzory mají vždy označení složené ze dvou částí, kdy první část označuje materiál, ze kterého je senzor vyroben a druhá část znázorňuje odpor při teplotě 0°C.

Platinové senzory teploty se vyrábí ve dvou tolerančních třídách, kdy třída A je uzpůsobena pro měření teploty z rozsahu -200°C po 650°C a třída B, která začíná stejnou dolní mezí, avšak horní mezí odpovídá teplota 850°C. Vedle dvou tolerančních tříd je možné ještě zařadit nejpresnější kritérium DIN 1/3B. Následující obrázek ukazuje graf dovolených tolerancí průmyslových Pt odporů. <sup>[5][6]</sup>



Obrázek 12: Dovolené tolerance průmyslových Pt měřicích odporů<sup>[6]</sup>

Výsledný odpor platinových senzorů je možné vypočítat z následujících vztahů, kdy jeden se aplikuje pro teplotu od -200°C po 0°C a druhý je platný právě od 0°C po maximální mez platinových senzorů 850°C.

Pro první rozsah, který odpovídá v celsiově stupnici záporným hodnotám teploty, platí vztah:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,80195 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 - 4,27350 \cdot 10^{-12} \cdot t^3 \cdot (t - 100)] \quad (1.3)$$

Druhý vztah odpovídající kladnému rozsahu teplot na celsiově stupnici je obdobný, jako předcházející vztah, avšak nedochází k začlenění třetího členu:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,80195 \cdot 10^{-7} \cdot t^2) \quad (1.4)$$

### 1.9.1.2 Niklové senzory teploty

Měřený rozsah u odporových senzorů teplot vyrobených z niklu je -60°C až 180°C. Obdobně jako senzory z platiny se vyrábí v několika odporových variantách, kdy značení probíhá stejným způsobem, jak v předchozích případech (Ni100, Ni200, Ni500, Ni1000 nebo Ni2000). Vztah pro výpočet odporu při dané teplotě volíme v následující formě:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + 5,485 \cdot 10^{-3} \cdot t + 6,65 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 2,805 \cdot 10^{-11} \cdot t^4 + 2,0 \cdot 10^{-17} \cdot t^6) \quad (1.5)$$

U těchto senzorů je hlavní výhodou jejich vysoká citlivost. Další výhodou jsou pak malé rozměry a malá časová konstanta, avšak malý teplotní rozsah je zde považován za nevýhodu. <sup>[6]</sup>

### 1.9.1.3 Měděné senzory teploty

Měděné senzory teploty se typicky využívají pro teplotní rozsah od -200°C po 200°C. Pokud se teplota měřeného tělesa pohybuje v rozmezí od 50°C po 150°C, je možné použít lineární vztah 1.2.

Vzhledem k tomu, že rezistivita mědi je 6x menší než rezistivita platiny a také u mědi dochází k rychlé oxidaci, nevyrábí se z ní přímo senzory, ale využívá se pro měření teplot vinutí u elektromotorů. <sup>[5]</sup>

## 1.9.2 Polovodičové odporové senzory teploty

Princip polovodičových odporových senzorů teploty je velice obdobný jako u předchozích odporových senzorů kovových. Teplota opět závisí na odporu, avšak tentokrát ne kovu, ale polovodiče. U těchto senzorů převažuje závislost koncentrace nosičů náboje na teplotě. Dělení polovodičových odporových senzorů teploty je dvojitý, a to na termistory (negastory a pozistory) a monokrystalické odporové senzory. <sup>[6]</sup>

### 1.9.2.1 Termistory

Termistory jsou vyráběny z oxidů kovů (např. železa, kobaltu, niklu nebo manganu). Zvolený kov se rozemele a s dalšími příměsi se pomocí pojidla spojí a slisuje za vysokého tlaku. Podle toho, k čemu bude později využíván, se zvolí jeho tvar (destičky, tyčinky a podobně). Po správném vytváření se vloží do pece, kde dojde k vypálení teplotou přesahující 1000°C.

Termistory se dělí na negastory a pozistory. Negastory, často nazývané zkratkou „NTC“, jsou termistory, u kterých odpor klesá s rostoucí teplotou, protože se uvolňují další nosiče náboje. To znamená, že více elektronů z valenčního pásu má schopnost překonat zakázaný pás a stát se volnými. V případě můstkovém zapojení, je možné měřit teplotu s přesností až  $10^{-4}$  K. Často se používají v počítačích, kde slouží jako převodníky tepla na napětí a fungují jako tepelné pojistky. Negastory jsou používány pro měření teplot dle typu buď v rozsahu -50°C až 150°C nebo v rozsahu od 4,2 K po 1000°C. Závislost odporu negastoru na teplotě vyjadřuje následující vztah, kde konstanta A určuje geometrický tvar a materiál daného termistoru a konstanta B znázorňuje teplotní konstantu termistoru, která ovšem závisí na teplotě. Poslední neznámou vzorce je T, neboli termodynamická teplota vyjádřená v kelvinech.

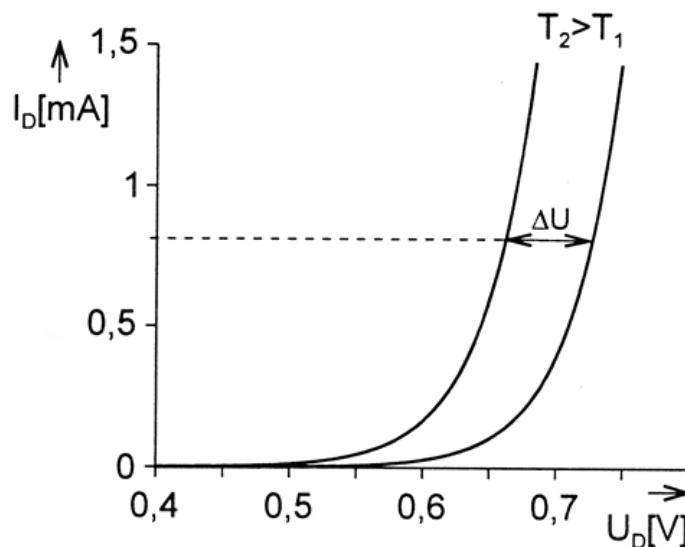
$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (1.6)$$

Druhým typem termistorů jsou pozistory (též označované jako „PTC“ termistory). Jedná se o termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. U těchto termistorů, obdobně jako u kovových odporových senzorů teploty, odpor prakticky roste s rostoucí teplotou (zpočátku nejprve mírně klesne, ale pak začne stoupat), avšak roste mnohem rychleji, než u kovů. PTC termistory se vyrábí z polykrystalické feroelektrické keramiky ( $\text{BaTiO}_3$  – titaničitan barnatý).

Prakticky nejdůležitější parametr, o kterém hovoříme v souvislosti PTC termistory, se považuje spínací teplota  $t_s$ . Spínací teplota udává, při jaké teplotě platí rovnost  $R_s = 2R_{\min}$ . Nejčastěji se pozistory využívají jako tepelné ochrany v elektronických systémech nebo například jako omezovače proudu. [6]

### 1.9.3 Monolitické PN senzory teploty

Monolitické PN senzory teploty využívají faktu, že při změně teploty se na PN přechodu vytvoří úbytek napětí. Velikost úbytku napětí závisí na teplotě. Pro správnou funkčnost je nutné zajištění zdroje konstantního proudu, který napájí PN přechod polarizovaný v propustném směru. Monolitické PN senzory teploty jsou vhodné pro měření teploty z intervalu od -55°C do 150°C. Tyto senzory se dělí do třech skupin. První z nich se nazývají senzory diodové, neboli křemíkové. Další skupinou jsou senzory tranzistorové a do třetí skupiny patří senzory monolitické- integrované.

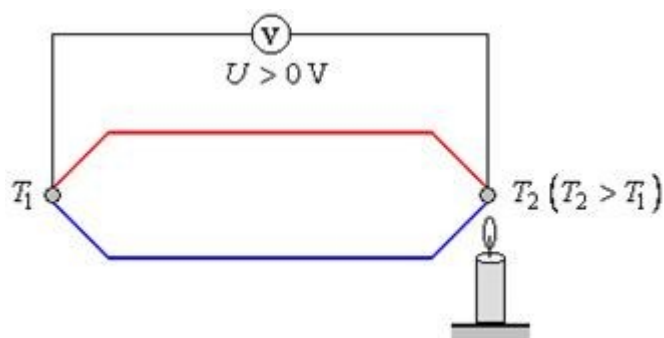


Obrázek 13: Závislost charakteristiky PN přechodu diody pro různé teploty<sup>[6]</sup>

#### 1.9.4 Termoelektrické senzory teploty

Termoelektrické senzory teploty pracují na principu termoelektrických jevů. Při teplotním rozdílu  $\Delta T$  na dvou kovových vodičích z různých materiálů vzniká při styku napětí  $\Delta U$ . Tento jev objevil německý fyzik Thomas Johann Seebeck v roce 1821. O 13 let později objevil francouzský fyzik Jean Charles Peltier jev, při kterém se při průchodu stejnosměrného proudu v místě, kde jsou spojeny dva různé vodiče, uvolňuje nebo pohlcuje teplo. Zda se teplo uvolňuje či pohlcuje a v jakém množství závisí na proudu, který obvodem prochází. Seebeckův i Peltierův jev jsou vzájemně inverzní. Tuto závislost potvrdil skotský fyzik William Thomson, který byl známý i jako lord Kelvin. Čtvrtým termoelektrickým jevem byl Benedicksův jev.

Základem termoelektrických senzorů teploty je právě Seebeckův jev. Tento jev funguje tak, že pokud spojíme dva různé kovy na dvou různých místech, kdy jednotlivá místa budou mít různou teplotu, bude mít každé místo jiný potenciál a tím pádem na nich bude možno naměřit určité napětí závislé na rozdílu teplot.



Obrázek 14: Seebeckův jev<sup>[7]</sup>

Důležitým poznatkem je také fakt, že záleží, jak kvalitně byl termočlánek vyroben a také do jaké míry je materiál pro výrobu termočlánku homogenní. Napětí na termočlánek totiž nevzniká pouze na měřicím spoji, avšak po celé jeho délce (až po srovnávací spoj).

Materiály, ze kterých se termočlánky vyrábí, musí splňovat několik podmínek, které jsou dané normou. Mezi tyto podmínky patří například odolnost proti korozi a chemickým vlivům nebo třeba odolnost proti ionizačnímu záření. Parametry těchto kovů také musí splňovat stabilitu svých parametrů.

#### **1.9.4.1 Typy termočlánků**

*TYP K- složení NiCr – NiAl (chromel – almel), použití v oxidační a inertní atmosféře, není vhodný pro vakuum, necitlivý na neutronový tok, dlouhodobě 0 až + 1100 °C, krátkodobě -110 až + 1350 °C,*

*TYP T; složení Cu – CuNi (měď – konstantan) dobré vlastnosti pro použití v kryogenní technice a redukční i oxidační atmosféře, ve vakuu lze použít pro teploty až 700 °C, dlouhodobě - 185 až +300 °C, krátkodobě - 250 až +400 °C,*

*TYP J; složení Fe – CuNi (železo – konstantan), použití pro oxidační, redukční i inertní atmosféru a vakuum, v redukční atmosféře možné použití bez ochranného krytí, dlouhodobě + 20 až +700 °C, krátkodobě - 180 až + 750 °C,*

*TYP N; složení NiCrSi – NiSiMg (nicrosil – nisol), použití i pro cyklické změny teploty, odolný vůči neutronovému toku a tedy vhodný pro jadernou energetiku, dlouhodobě 0 až + 1100 °C, krátkodobě - 270 až 1300 °C,*

*TYP E; složení NiCr – CuNi (chromel – konstantan), má vysokou hodnotu termoelektrického koeficientu, vhodný pro vakuum a střední oxidační atmosféru, dlouhodobě 0 až + 800 °C, krátkodobě - 40 až + 900 °C,*

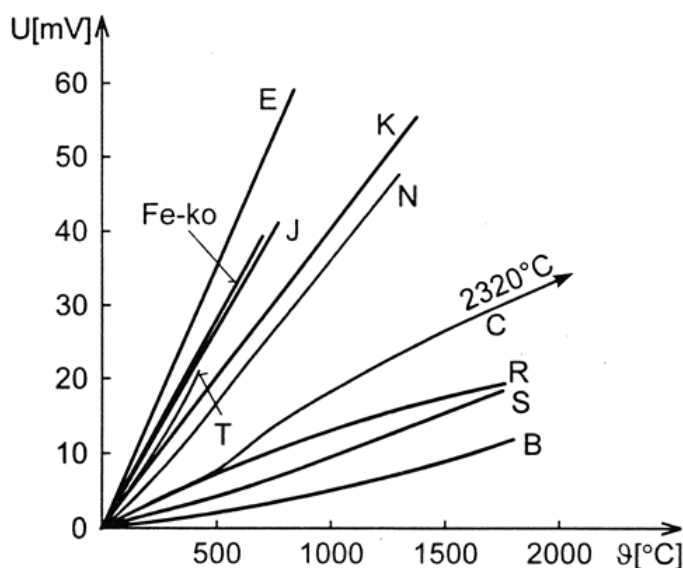
*TYP R; složení PtRh13 – Pt, odolný proti korozi a oxidaci, ale musí být v provedení s ochranným krytím, dlouhodobě 0 až 1600 °C, krátkodobě - 50 až + 1700 °C,*

*TYP S; složení PtRh10 – Pt, jinak shodný s typem R, dlouhodobě 0 až +1550 °C, krátkodobě - 50 až +1750 °C,*

*TYP B; složení PtRh30 – PtRh6, používá se od 100 °C, na dolním teplotním rozsahu málo citlivý, použití jako typ R, S, nad +1200 °C stabilnější, dlouhodobě + 100 až +1000 °C, krátkodobě + 100 až +1820 °C,*

*TYP; složení W – WRh, vhodný pro extrémně vysoké teploty, používá se nad 400 °C, chemicky stabilní, použití v oxidační i inertní atmosféře, rovněž ve vakuu a vodíku, dlouhodobě + 20 až 2320 °C, krátkodobě 0 až +2600 °C,*

*TYP C; složení WRh5 – WRh26, obdobné vlastnosti jako typ, dlouhodobě + 50 až +1820 °C, krátkodobě + 20 až +2300 °C.*<sup>[6]</sup>



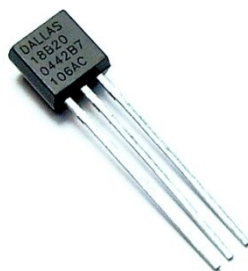
Obrázek 15: Statické charakteristiky různých druhů termočlánků <sup>[6]</sup>

### 1.9.5 Digitální senzory pro měření teplot

S nástupem digitální techniky se objevily i digitální senzory pro měření teplot, často nazývány jako inteligentní senzory teploty. Senzory obsahují snímač teploty, který je integrován přímo na chipu, nebo obsahují přímé rozhraní pro připojení externího čidla. Senzor obsahuje také obvody pro zpracování či úpravu signálu (linearizace, korekce, zesílení apod.) a A/D převodník umožňující digitální výstup měřené veličiny. Jeden z nejčastěji používaných senzorů teploty s digitálním výstupem je DS18B20.<sup>[10]</sup>

#### 1.9.5.1 DS18B20

Digitální senzor DS18B20 byl vyvinut společností Dallas (dnes vyrábí firma Maxim). Jedná se o čidlo, které umožňuje komunikaci po sběrnici „1-Wire“. Jak už vyplývá z názvu sběrnice, pro obousměrnou komunikaci stačí pouze jeden vodič. Jelikož mají jednotlivé senzory DS18B20 svou unikátní adresu, je možno jich paralelně spojit více a získávat tak teplotu ze všech za použití pouze jednoho vodiče. Teplotní rozsah zmíněných senzorů je od -55°C po 125°C s přesností na  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  při nejnižším rozlišení.



Obrázek 16: DS18B20

Rozlišení těchto senzorů lze programově nastavit a pohybuje se mezi 9 a 12 bity. Napájení těchto senzorů DS18B20 v rozsahu od 3,0V po 5,5V je řešeno zdrojem stejnosměrného napětí.

Tyto senzory umožňují i tzv. pasivní režim, kdy není potřeba pro funkčnost zapojit všechny tři vodiče, ale stačí pouze vodiče dva. V případě použití pasivní režimu je napájení řešeno po datovém vodiči. Detailní informace je uložena v příloze č. 3 v datasheetu senzoru.

## 1.10 Měření koncentrace CO

Při výrobě senzorů plynů, které se potřebují pro zjištění přítomnosti či koncentrace určitého plynu ve vzduchu se využívají především dva druhy senzorů využívající různé principy. Prvním z nich jsou chemické vodivostní senzory a druhou kategorií zastupují elektrochemické senzory.

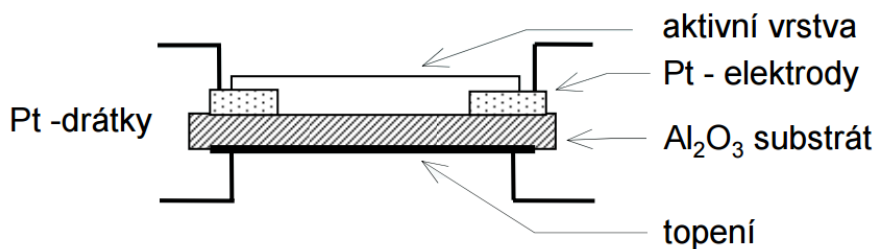
### 1.10.1 Chemické vodivostní senzory

Chemické vodivostní senzory jsou polovodičové součástky považované za nejrozšířenější senzory pro detekci plynu. Nejpoužívanějšími senzory jsou z důvodu velké životnosti (někdy i 30 let) a také velké škály plynů, které dokáží detekovat.

Tyto senzory fungují na principu změny vodivosti jejich aktivní vrstvy podle druhu a koncentrace okolního plynu. Při detekci příslušného plynu se mění chemické vlastnosti aktivní vrstvy, avšak se mění její odpor v závislosti na koncentraci daného prvku.

Předpokladem správné funkčnosti senzoru je stálost aktivní sensorové vrstvy a zamezení reakce s látkami, které jsou běžně v ovzduší. Pro výrobu aktivní vrstvy se s oblibou využívají oxidy kovů, jako například oxid cínčitý ( $\text{SnO}_2$ ), oxid železitý ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) nebo třeba oxid zinečnatý ( $\text{ZnO}$ ).

Za nejdůležitější část senzoru se považuje právě aktivní vrstva, jak již bylo zmíněno. Tato vrstva je nanášena na nosné desce s velkým ionizačním odporem (oxid hlinitý, safír). Z druhé strany nosné desky je umístěno odporové topení, které se používá z důvodu urychlení reakce a tak i k urychlení samotné detekce plynu. Elektrody a vodiče pro odporové topení a pro aktivní vrstvu jsou vyrobeny z platiny.<sup>[13]</sup>



Obrázek 17: Schématické znázornění vodivostního senzoru<sup>[12]</sup>



Obrázek 18: Chemický vodivostní senzor TGS2442 pro detekci oxidu uhelnatého

### 1.10.2 Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory se řadí do druhé skupiny zmiňované na začátku této podkapitoly. Detekce plynu se liší od předchozího případu. Základem těchto senzorů jsou tzv. redoxní děje. Tyto děje probíhají na rozhraní mezi elektrodami a elektrolytem a skládají se ze dvou částí (oxidace a redukce). Kontak s analyzovaným prostředím zajišťují právě elektrody, které se považují za aktivní část celého senzoru. Elektrod v senzoru může být více, avšak pro měření je potřeba mít k dispozici alespoň jednu pracovní, neboli měřicí, elektrodu a jednu referenční. Referenční elektroda je vyrobena tak, že se vlivem měřeného plynu její vlastnosti ani potenciál nemění a porovnává se tak akorát potenciál vůči měřicí elektrodě. Za zmínku ještě stojí, že použitý elektrolyt může mít různé podoby (pevnou, kapalnou).

Tyto typy senzorů se s oblibou využívají právě díky jejich výborné citlivosti a nízké spotřebě. Další výhodou je možné zmínit, že v porovnání s předchozím typem, chemicky vodivostním senzorem, není potřeba dodávat tepelnou energii, ale lze měřit i při pokojové teplotě. <sup>[8]</sup>

Pro měření oxidu uhelnatého na důlních odvalech, pro které je práce cílená, budou využívány senzory od společnosti Figaro. Senzory jsou označeny jako TGS5042 a fungují na elektrochemickém principu. Detailní informace je uložena v příloze č. 4 v datasheetu senzoru.





**Obrázek 19: Senzor pro měření koncentrace CO - TGS5042**

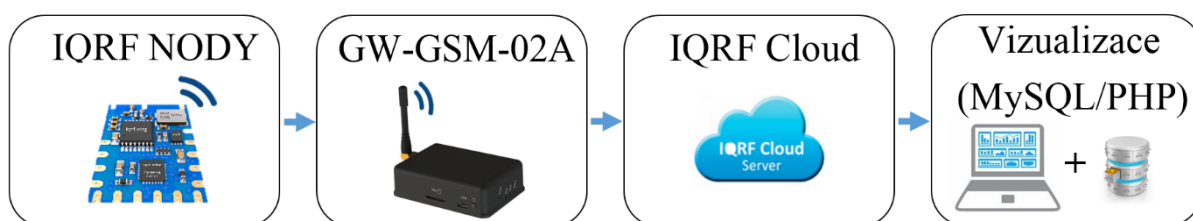
**Tabulka 1: Závislost množství koncentrace CO na zdravotní stav člověka<sup>[8]</sup>**

Koncentrace CO (ppm)	Hladiny COHb	Příznaky
35	<10%	Bolesti hlavy, závratě
100	>10%	Mírné bolesti hlavy
200	20%	Mírné bolesti hlavy, dezorientace
400	25%	Bolesti hlavy ve frontální oblasti
800	30%	Závratě, nauzea, křeče, ztráta vědomí do 2 hodin
1600	40%	Bolesti hlavy, závratě, nauzea, tachykardie, smrt do 2 hodin
3200	50%	Bolesti hlavy, závratě, nauzea, smrt do 30 minut
6400	60%	Bolesti hlavy, závratě, nauzea, křeče, respirační insuficience, smrt do 20 minut
12800	>70%	Smrt do 3 minut

## 2 Praktická část

### 2.1 Návrh monitorovacího systému

Cílem diplomové práce je vytvoření a nasazení systému pro monitorování, archivaci a vizualizaci dat s použitím IQRF technologie. Práce zahrnuje také softwarovou nástavbu, která umožňuje reagovat na definované alarmní stavy. Vizualizace naměřených dat je vytvořena pomocí skriptovacího jazyka PHP a je implementována na webový server. Při zpracování naměřených dat dochází po analýze také k archivaci dat do MySQL databáze.



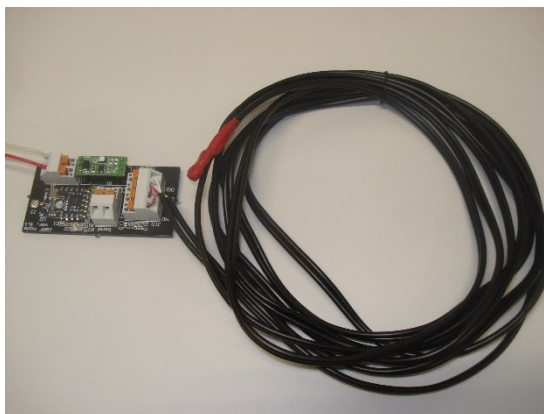
Obrázek 20: Blokové schéma systému s vizualizací pomocí PHP

### 2.2 IQRF měřicí moduly

Problematickou monitorování environmentálních veličin v lokalitách zasažených důlní činností se Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství VŠB TU Ostrava zabývá již řadu let.

V rámci této činnosti spolupracuje s významnými firmami zabývající se danou oblastí v rámci celé ČR. Důkazem této úspěšné spolupráce je několik zdárně vyřešených a současně řešených projektů VaV agentūr, např. TAČR, GAČR, MPO a jiných. Dílčí části dané problematiky jsou také řešeny v rámci SGS („studentská garantová soutěž“). Jedním z praktických výstupů řešení uvedených projektů jsou autonomní měřicí moduly založené na technologii IQRF. Pro diplomovou práci byly použity dva z nich (modul pro měření teploty čidlem DS18B20 a modul pro měření koncentrace CO čidlem TGS 5042).

Pro monitorování teploty jsou použity nody navrhnuté pro připojení dvou digitálních senzorů DS18B20. Z důvodu ochrany před vnějšími vlivy prostředí jsou nody uzavřeny ve vodotěsné sondě. Napájení nodu o velikosti 3,6V zajišťuje lithiová baterie KINETIC BL-ER26500-1AN poskytující kapacitu 8,5Ah. Bylo zvažováno také použití NiMH akumulátoru. Oproti lithiové baterii však má zpravidla menší kapacitu uložené energie. Dalším aspektem podporující výběr lithiové baterie je větší tepelná odolnost, což je vzhledem k instalaci na důlní odvaly výhodné.



**Obrázek 21: IQRF nod pro měření teploty pomocí senzoru DS18B20**

Vyčtení hodnoty ze snímače se provede zasláním paketu o velikosti 6B. První část paketu NADR označuje adresu, na který měřicí uzel má být dotaz poslán (např. 0x0001). Druhá část PNUM s hodnotou 0x20 označuje, že dotaz směřuje na uživatelskou periferii. Třetí část PCMD s hodnotou 0x00 označuje příkaz ke čtení z uživatelské periferii. Poslední část zasláního paketu HWPID do které se zapisuje hodnota 0xFFFF symbolizuje, že koordinátor nerozlišuje konkrétní hardware na dané adrese.

**Tabulka 2: Paket pro vyčtení hodnoty ze snímače (v hexadecimálním tvaru) <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)
01	00	20	00	FF	FF

**Tabulka 3: Paket pro vyčtení hodnoty ze snímače (v dekadickém tvaru) <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)
001	000	032	000	255	255

Odpověď na předchozí paket má velikost 12B. V posledních 4 bytech je zakódovaná hodnota z měřicího senzoru. <sup>[14]</sup>

**Tabulka 4: Odpověď v hexadecimálním tvaru <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	ErrN	DPA value	Data chan 1 (Lo)	Data chan 1 (Hi)	Data chan 2 (Lo)	Data chan 2 (Hi)
01	00	20	80	12	07	00	5C	00	8F	B5	81

**Tabulka 5: Odpověď v dekadickém tvaru <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	ErrN	DPA value	Data chan 1 (Lo)	Data chan 1 (Hi)	Data chan 2 (Lo)	Data chan 2 (Hi)
001	000	032	128	018	007	000	092	000	143	181	129

	Index	Obdrženo serverem	Obdrženo bránou	Typ	Délka dat	Data	Status	DB index
1	112416	20.4.2017 9:17:18	19.4.2017 9:16:42	Rx	12	03.00.20.80.12.07.00.3A.0E.81.00.8F		20687329
2	112415	20.4.2017 9:17:15	19.4.2017 9:16:42	Rx	12	02.00.20.80.12.07.00.43.1F.81.00.8F		20687327
3	112414	20.4.2017 9:17:13	19.4.2017 9:16:40	Rx	12	01.00.20.80.12.07.00.44.40.81.00.8F		20687322

**Obrázek 22: Změřená data zaslaná měřicími uzly pro měření teploty na IQRf Cloud**

Po přijetí dat v hexadecimální podobě jsou data umístěna v 3. a 4. bytu od konce (3. a 4. byte od konce odpovídá prvnímu měřicímu kanálu, 1. a 2. byte od konce odpovídá druhému měřicímu kanálu). Prvním krokem je převedení čísla do binární podoby a následně znegování prvního platného bitu. Dále už je postup stejný jako v předchozím případě, kdy stačí výsledek převést do dekadické soustavy a vynásobit konstantou 0,0625.

Teplota změřená nodem s adresou 01 v čase 19.4.2017 9:16:40 z předchozího obrázku by se tedy zjišťovala následovně. Zjištěná data jsou rovna hodnotě 8140. Po převedení do binární podoby odpovídají hodnotě 1000000101000000. Po negaci prvního platného bitu, který je v tomto případě hned na prvním místě, je hodnota 101000000 převedena do dekadického tvaru na hodnotu 320. Po vynásobení konstantou 0,0625 odpovídá výsledná teplota 20 °C.

Měření koncentrace oxidu uhelnatého je prováděno pomocí elektrochemického senzoru Figaro s konkrétním označením TGS5042. Senzor funguje jako zdroj proudu (v řádech nA), který prochází velmi přesným rezistorem, ze kterého zjišťuje úbytek napětí. Napětí se následně zdigitalizuje a zakóduje a je odesíláno do koordinátora IQRf sítě.



**Obrázek 23: IQRf nod pro měření koncentrace CO pomocí senzoru Figaro TGS5042**

Nastavení IQRf nodu pro měření koncentrace CO probíhá zápisem do paměti EEPROM. DPA paket pro nastavení snímače má velikost 11B. První 2B specifikují adresu měřicího uzlu, do kterého se má zapisovat. Do 3. Bytu v pořadí, PNUM, se v tomto případě zapisuje hodnota 03, čímž se určuje, že jde o práci s pamětí EEPROM. Dalším Bytem paketu, PCDM, se určuje, zda jde o zápis (1) či čtení (0) z paměti EEPROM. Obdobně, jako u paketu pro výpis hodnoty senzoru z používaných IQRf nodů pro měření teplot, se do HWPID zapisuje 0xFFFF, což označuje, že není rozlišený konkrétní hardware na dané adrese. Další část DPA paketu, Start address, je počáteční adresa v EEPROM, od které se zapíše následující blok dat o velikosti 4B. Následující 2B se využívají pro zápis kalibrační konstanty senzoru, kdy každý senzor má svou jedinečnou konstantu uvedenou na jejím plášti. Předposlední Byte udává

dobu ve stovkách sekund, jak dlouho se bude točit ventilátor. Poslední Byte, označený jako ADC sensitivity, udává volbu rozsahu.

ADC sensitivity:

- 001 odpovídá rozsahu 0 až 512 mV, což pro snímač s kalibrační konstantou 1,324 nA na 1 ppm CO odpovídá rozsahu 0 až cca 1350 ppm CO,
- 000 (nebo jiné) odpovídá rozsahu 0 – 256 mV, což pro snímač s kalibrační konstantou 1,324 nA na 1 ppm CO odpovídá rozsahu 0 až cca 650 ppm CO. <sup>[14]</sup>

**Tabulka 6: DPA paket pro zápis do EEPROM u IQRF notu pro měření koncentrace CO (hexadecimální tvar) <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	Start address	Hundreds of pA	Units of pA	FAN time	ADC sensitivity
01	00	03	01	FF	FF	00	0D	18	32	01

**Tabulka 7: DPA paket pro zápis do EEPROM u IQRF notu pro měření koncentrace CO (dekadický tvar) <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	Start address	Hundreds of pA	Units of pA	FAN time	ADC sensitivity
001	00	003	001	255	255	000	013	024	050	001

Po odeslání tohoto DPA paketu přijde vzápětí zpět potvrzení o délce 11B. Z tohoto potvrzení lze vyčíst čas, jak dlouho bude koordinátor čekat na odpověď (8B). Podobu potvrzení (confirmation) a odpovědi (response) lze vyčíst ze [14].

Vyčtení změřené hodnoty se docílí po zaslání DPA paketu stejného jako pro vyčtení teploty z teplotních měřicích uzlů. Vzápětí přijde odpověď o délce 12B. Výpočet koncentrace oxidu uhelnatého z hodnoty změřené AD převodníkem je vysvětleno dále.

**Tabulka 8: Odpověď hexadecimálním tvaru <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	ErrN	DPA value	ADC value (Lo)	ADC value (Hi)	Units of pA	Hundreds of pA
01	00	20	80	12	09	00	4F	6B	00	18	0D

**Tabulka 9: Odpověď v dekadickém tvaru <sup>[14]</sup>**

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)	ErrN	DPA value	ADC value (Lo)	ADC value (Hi)	Units of pA	Hundreds of pA
001	000	032	128	018	009	000	079	107	000	024	013

## 2.3 Testování funkčnosti a kalibrace IQRF nodu pro měření koncentrace CO

Po nahrání programu do paměti nodu a po úspěšném zprovoznění komunikace mezi nodem a koordinátorem bylo potřeba zjistit správnou funkčnost tohoto měřicího prvku. Prvotní testy těchto modulů probíhaly s odpojeným snímačem koncentrace oxidu uhelnatého TGS5042. Jak už vyplývá z jeho principu, jedná se o zdroj proudu, kdy velikost proudu snímače závisí na koncentraci oxidu uhelnatého. Vzhledem k tomuto požadavku se nejprve tedy snímač nahradil přesným zdrojem proudu. Pro ověření správné velikosti proudu byl sériově připojen přesný ampérmetr.

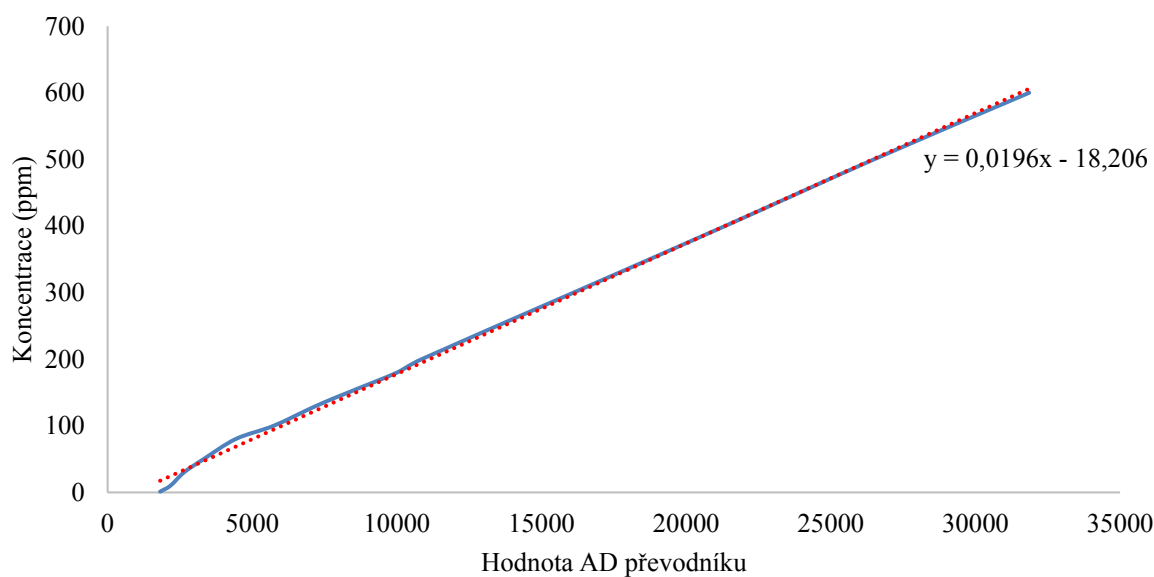
Jednotlivé snímače firmy Figaro, s označením TGS5042, se liší svou kalibrační konstantou, která je už od výrobce uvedena na obalu, jak již bylo zmíněno výše. Z datasheetu snímače je možné vyčíst, že tato konstanta přímo-úměrně závisí na velikosti proudu dodávaného snímače vzhledem ke koncentraci CO.

Přesněji řečeno tedy jedna tisícinová kalibrační konstanta v nA je rovna 1 ppm oxidu uhelnatého. Za tohoto předpokladu byl vždy pro konkrétní nod zvolen konkrétní snímač. Tato kalibrační konstanta se musí zapsat do EEPROM paměti modulu.

Test byl prováděn tedy tak, že po nastavení určité velikosti proudu byla odečtena hodnota z AD převodníku, která byla v hexadecimální podobě zaslána koordinátoru sítě. Měření vždy byla 5x opakována pro konkrétní hodnotu proudu a výsledný průběh byl vytvořen z průměrných hodnot z těchto 5 měření. Měření proběhla celkem na třech nodech pro měření koncentrace oxidu uhelnatého.

Tabulka 10: 1. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1460

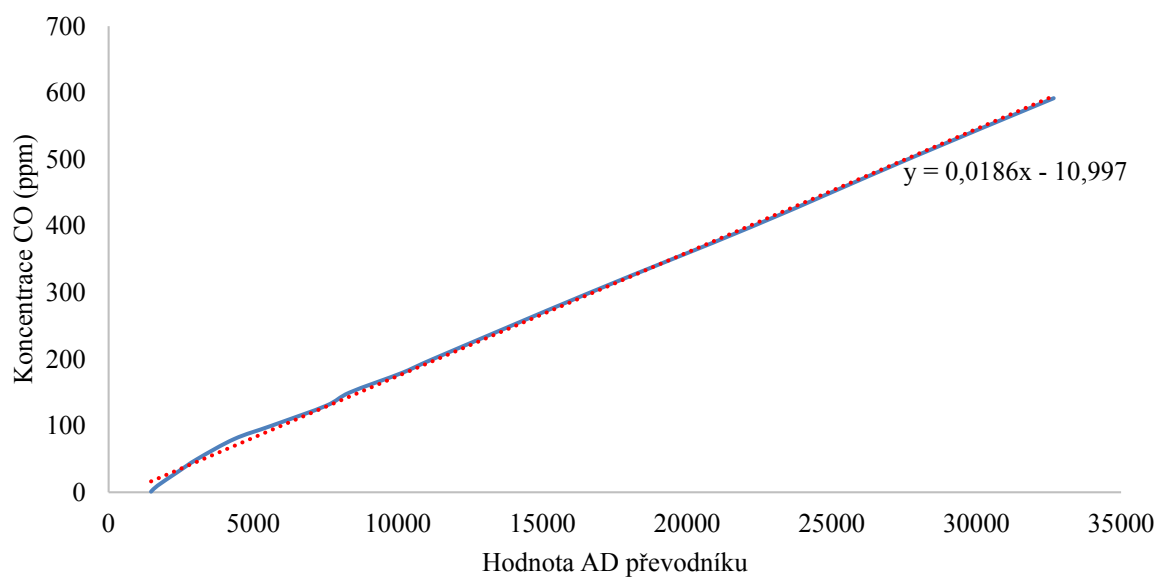
Proud (nA)	Koncentrace (ppm)	Měření 1 (hex)	Měření 2 (hex)	Měření 3 (hex)	Měření 4 (hex)	Měření 5 (hex)	Měření 1 (dec)	Měření 2 (dec)	Měření 3 (dec)	Měření 4 (dec)	Měření 5 (dec)	Průměrná hodnota (dec)
1,46	1	06EA	07C7	0675	07B0	0693	1770	1991	1653	1968	1683	1813
14,6	10	07E9	0827	08D5	08AA	08DD	2025	2087	2261	2218	2269	2172
43,8	30	0A75	0AAB	097B	0A5F	0A9D	2677	2731	2427	2655	2717	2641,4
73	50	0C38	0E24	0C29	0C44	0E19	3128	3620	3113	3140	3609	3322
116,8	80	112E	1117	113B	1115	11E1	4398	4375	4411	4373	4577	4426,8
146	100	157D	175A	1501	16EB	1766	5501	5978	5377	5867	5990	5742,6
189,8	130	1C70	1C9F	1B02	1CF7	1BEE	7280	7327	6914	7415	7150	7217,2
219	150	2003	2169	20C3	2059	1FF9	8195	8553	8387	8281	8185	8320,2
262,8	180	26FF	263F	26DB	27C6	27AD	9983	9791	9947	10182	10157	10012
292	200	2ACD	2B90	29E5	2A15	29BE	10957	11152	10725	10773	10686	10858,6
438	300	4037	3EE0	3DED	3EBA	3EF3	16439	16096	15853	16058	16115	16112,2
584	400	544A	525D	52E0	5495	52E2	21578	21085	21216	21653	21218	21350
730	500	67B0	66FC	66D7	6907	66E0	26544	26364	26327	26887	26336	26491,6
876	600	7D75	7C20	7C9C	7B32	7CD0	32117	31776	31900	31538	31952	31856,6



**Obrázek 24: 1. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1460**

**Tabulka 11: 2. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1520**

Proud (nA)	Koncentrace (ppm)	Měření 1 (hex)	Měření 2 (hex)	Měření 3 (hex)	Měření 4 (hex)	Měření 5 (hex)	Měření 1 (dec)	Měření 2 (dec)	Měření 3 (dec)	Měření 4 (dec)	Měření 5 (dec)	Průměrná hodnota (dec)
1,52	1	05DE	05DA	0628	05CA	050B	1502	1498	1576	1482	1291	1469,8
15,2	10	0631	0749	062D	071C	0659	1585	1865	1581	1820	1625	1695,2
45,6	30	0926	0852	09D9	098D	0979	2342	2130	2521	2445	2425	2372,6
76	50	0C21	0B26	0C41	0BA3	0CC9	3105	2854	3137	2979	3273	3069,6
121,6	80	1137	10D3	108E	10C7	1170	4407	4307	4238	4295	4464	4342,2
152	100	16FC	15E3	166C	15A7	1514	5884	5603	5740	5543	5396	5633,2
197,6	130	1D81	1D4A	1D69	1D31	1D7F	7553	7498	7529	7473	7551	7520,8
228	150	20D1	1FF1	1FEB	20A0	2196	8401	8177	8171	8352	8598	8339,8
273,6	180	280B	268D	27B8	284B	2848	10251	9869	10168	10315	10312	10183
304	200	2BAC	2C17	2A91	2BF3	2C9B	11180	11287	10897	11251	11419	11206,8
456	300	4049	4154	40F9	407E	41F2	16457	16724	16633	16510	16882	16641,2
608	400	56E1	55AD	57AD	57AA	5772	22241	21933	22445	22442	22386	22289,4
760	500	6C3A	6B49	6B49	6B56	6D41	27706	27465	27465	27478	27969	27616,6
900	592	7FD7	7F1A	7F30	7FFF	7FFF	32727	32538	32560	32767	32767	32671,8

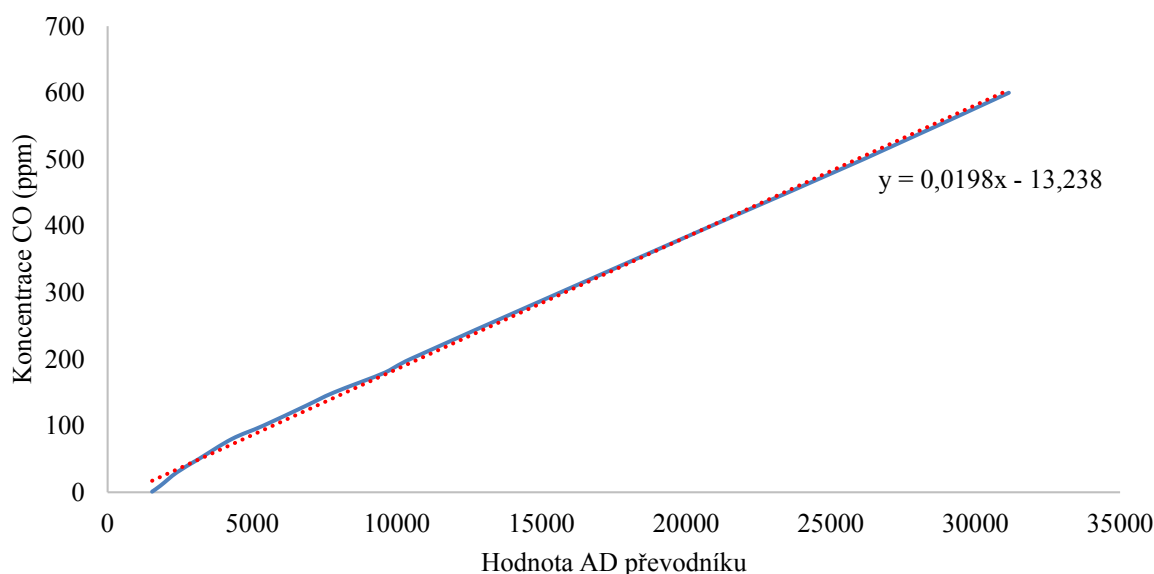


**Obrázek 25: 2. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1520**

**Tabulka 12: 3. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1443**

Proud (nA)	Koncentrace (ppm)	Měření 1 (hex)	Měření 2 (hex)	Měření 3 (hex)	Měření 4 (hex)	Měření 5 (hex)	Měření 1 (dec)	Měření 2 (dec)	Měření 3 (dec)	Měření 4 (dec)	Měření 5 (dec)	Průměrná hodnota (dec)
1,443	1	061E	06BE	05A0	05F3	0598	1566	1726	1440	1523	1432	1537,4
14,43	10	068A	0701	07AC	06C6	07B4	1674	1793	1964	1734	1972	1827,4
43,29	30	0898	0959	0977	0A3F	0924	2200	2393	2423	2623	2340	2395,8
72,15	50	0CF4	0C45	0CC9	0B44	0C45	3316	3141	3273	2884	3141	3151
115,44	80	1209	100A	0FD8	11D8	100A	4617	4106	4056	4568	4106	4290,6
144,3	100	14D2	13D0	15E2	15E2	14A1	5330	5072	5602	5602	5281	5377,4
187,59	130	1A4A	19C4	1C10	1BEB	19E3	6730	6596	7184	7147	6627	6856,8
216,45	150	1EBF	1F51	1E1E	1ED6	1DDB	7871	8017	7710	7894	7643	7827
259,74	180	25D8	25E9	240E	2599	2606	9688	9705	9230	9625	9734	9596,4
288,6	200	29E8	2806	28BF	27F6	29A8	10728	10246	10431	10230	10664	10459,8
432,9	300	3C46	3DEE	3D02	3C55	3DEA	15430	15854	15618	15445	15850	15639,4
577,2	400	50E0	5232	522F	5204	5045	20704	21042	21039	20996	20549	20866
721,5	500	6620	65FE	668D	65D2	65AB	26144	26110	26253	26066	26027	26120
865,8	600	788F	7951	7A9C	79A3	7A5C	30863	31057	31388	31139	31324	31154,2





**Obrázek 26: 3. měření se simulací senzoru s kalibrační konstantou 1443**

Jednotlivými průběhy byla vždy proložena lineární přímka a následně i vypsána rovnice této přímky pro možnost následného přepočtu hodnoty získané AD převodníkem na koncentraci oxidu uhelnatého. Toto měření bylo ovšem pouze první částí testování.

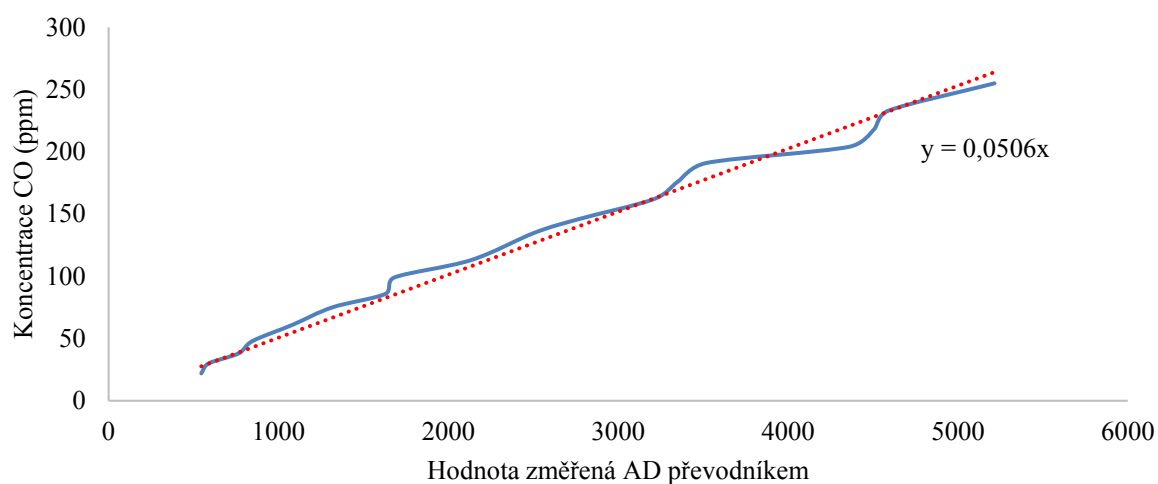
Ve druhé části testování byl vložen namísto zdroje proudu samotný snímač koncentrace oxidu uhelnatého TGS5042. Testovaný objekt byl uzavřen do utěsněné komory s přístrojem JTO GD500, který byl považován za referenční. V komoře byl také ventilátor, který zajišťoval homogenní podmínky v celé komoře. Měření probíhala tak, že se do komory vždy vložila zapálená vonná tyčinka, která je vhodný zdroj oxidu uhelnatého. Po ustálení hodnoty na referenčním přístroji se vždy odečetla hodnota AD převodníku IQRF zařízení. Měření byla několikrát opakována z důvodu ověření správnosti naměřených hodnot.



**Obrázek 27: Ukázka testu funkčnosti IQRF nodu pro měření oxidu uhelnatého**

**Tabulka 13: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1520**

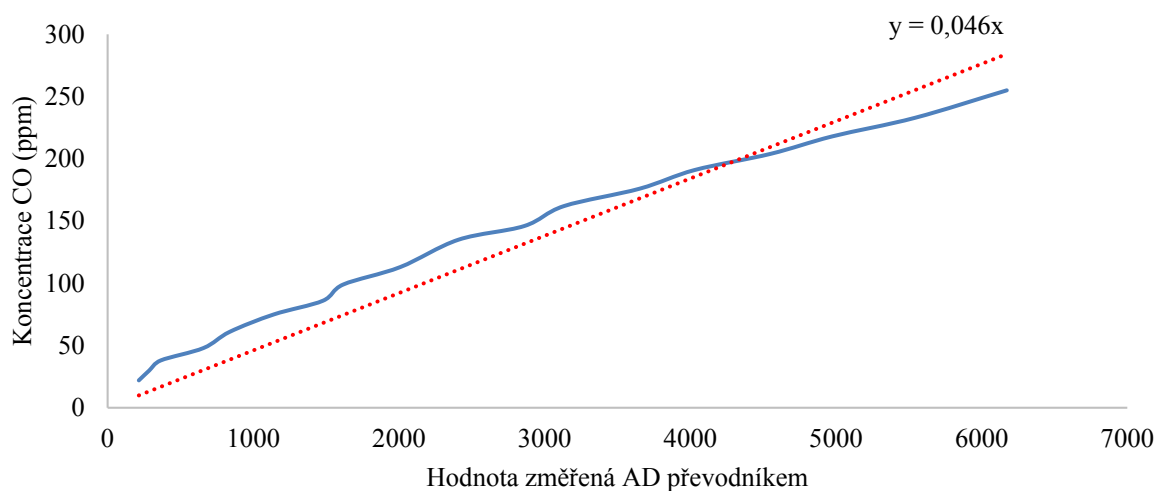
Koncentrace CO na kalibračním přístroji (ppm)	Hodnota AD převodníku (hex)	Hodnota AD převodníku (dec)
22	0222	546
30	024D	589
38	02FD	765
48	0350	848
61	043B	1083
75	0525	1317
86	0660	1632
99	0692	1682
113	0856	2134
135	09CC	2508
146	0AD2	2770
162	0C8A	3210
176	0D17	3351
191	0DBF	3519
204	1107	4359
218	119A	4506
233	11EE	4590
255	145F	5215



**Obrázek 28: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1520**

**Tabulka 14: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1460**

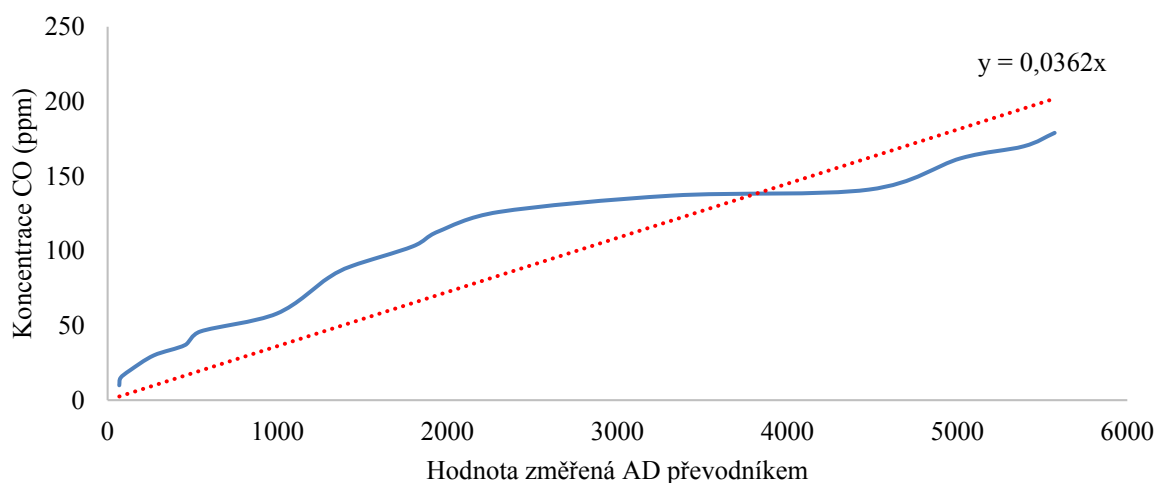
Koncentrace CO na kalibračním přístroji (ppm)	Hodnota AD převodníku (hex)	Hodnota AD převodníku (dec)
22	00D7	215
30	011F	287
38	016D	365
48	0293	659
61	0347	839
75	0476	1142
86	05C7	1479
99	0652	1618
113	07D9	2009
135	0969	2409
146	0B2D	2861
162	0C3D	3133
176	0E45	3653
191	0FBF	4031
204	11C8	4552
218	136F	4975
233	15A9	5545
255	181D	6173



**Obrázek 29: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1460**

**Tabulka 15: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1443**

Koncentrace CO na kalibračním přístroji (ppm)	Hodnota AD převodníku (hex)	Hodnota AD převodníku (dec)
10	0045	69
15	004D	77
20	0084	132
30	0110	272
37	01C9	457
46	0222	546
58	03E4	996
82	0514	1300
90	05A1	1441
103	0704	1796
113	079B	1947
126	08FD	2301
137	0CF9	3321
141	117F	4479
162	139D	5021
170	150F	5391
179	15C5	5573



**Obrázek 30: Závislost hodnoty AD převodníku na koncentraci oxidu uhelnatého pro senzor s kalibrační konstantou 1443**

Jednotlivými průběhy byla proložena přímka procházející středem souřadnicového systému. Výsledné rovnice těchto přímk jsou ovšem mírně odlišné oproti rovnicím zjištěným při prvních testech se zdrojem proudu KEITHLEY 6221. Drobné odlišnosti jsou způsobeny rozdílnými tolerancemi součástek použitých pro měřicí modul.

## 2.4 Energetická náročnost měřicího systému

Jak již bylo uvedeno, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství se dlouhodobě zabývá problematikou monitorování důsledků termických činností nejen na starých důlních odvalech a při této činnosti spolupracuje s řadou významných společností, jako je Diamo, státní podnik, SG Geotechnika a.s., SG Geoinženýring, s.r.o. STRIX Chomutov, a.s. a jiné.

V rámci této spolupráce byly pro monitorování vytypovány nejrizikovější lokality, ke kterým patří důlní odval Ema a Hedvika.

Původním místem plánovaným pro instalaci monitorovacího systému byl důlní odval s názvem Ema, který se nachází v centru Ostravy. Vzhledem k tomu, že zde nezasahuje elektrická rozvodná síť, je potřeba napájení zajistit bateriemi dobíjenými solárním panelem. Z tohoto důvodu bylo nutné zjistit energetickou náročnost monitorovacího systému.

Vzhledem k aktuálně vyvíjecím se termickým procesům byla následně domluvena instalace na důlním odvalu Hedvika. Výhodou odvalu Hedvika je přítomnost elektrické sítě.

### 2.4.1 Analýza energetické náročnosti

Napájení měřicích modulů bateriemi už bylo vyřešeno výše. Zbývá tedy analýza energetické náročnosti GSM brány sloužící v IQRF síti jako koordinátor.

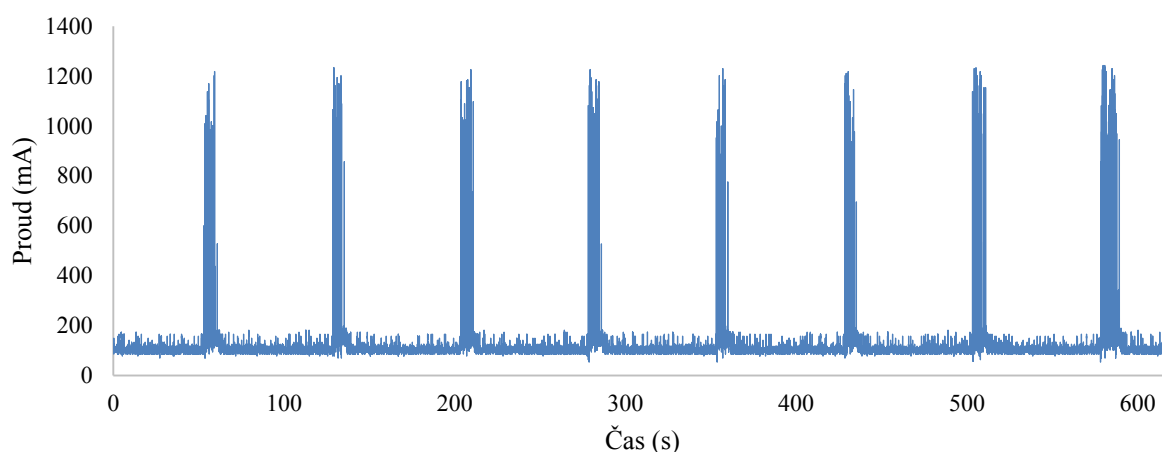
Systém je možné provozovat v několika režimech, které výrazně ovlivňují jeho náročnost na napájení, proto bylo potřeba vyzkoušet, ve kterých režimech a za jakých situacích je spotřeba nejnižší a podle toho byla provedena minimalizace energetické náročnosti.

Pro měření spotřeby gatewaye probíhajícího v laboratoři se zvažovalo několik způsobů, mezi které patří například měření proudů stolními multimetry (UNI-T UT804 nebo Agilent 34401A), avšak kvůli několika aspektům (absence preferovaného rozhraní pro připojení do PC nebo vhodného rozsahu pro měření) od nich bylo upuštěno. Finální měření probíhala díky měření úbytku napětí na zařazeném rezistoru do série, které se zaznamenávalo pomocí osciloskopu Keysight DSOX3014T.

Nejdříve zvolený rezistor měl hodnotu 1 ohm. Tato hodnota byla velmi výhodná i z hlediska přepočtu úbytku napětí na proud, jelikož číselná hodnota proudu v ampérech je rovna číselné hodnotě úbytku napětí na rezistoru ve voltech.

Během měření byl interval pro odesílání dat gatewayem roven 60 vteřinám. Prvotní testy probíhaly s připojenými třemi měřicími uzly. Měřením bylo zjištěno, že čas potřebný k navázání spojení se serverem, samotný přenos dat a odpojení trvalo přibližně 8 vteřin.

Mimo vysílání a přenos dat se spotřeba gatewaye, který přetrvával v pohotovostním režimu, rovnala přibližně 110 mA. V případě přenosu spotřeba stoupla, avšak nárůst proudu byl pouze v určitém počtu impulzů s velikostí amplitudy cca 1200 mA.

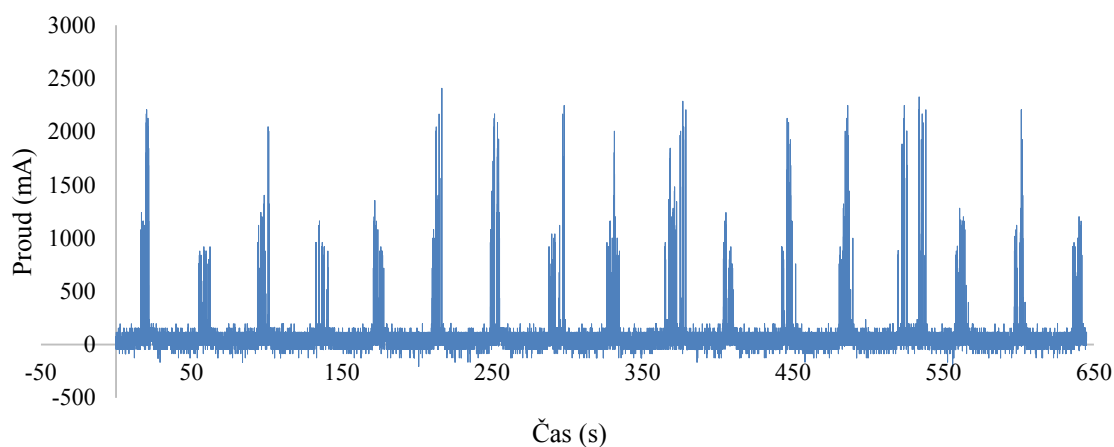


**Obrázek 31: Průběh proudu při napájení přes USB konektor (se zapojeným interním akumulátorem)**

Toto měření se ovšem ukázalo jako nekorektní. Ačkoli se jednalo o skutečný proud, který byl dodáván do gatewaye, vysoké proudové nároky při vysílání byly vyrovnávány interní baterií, kterou zařízení obsahuje, a taky docházelo trvale k dobíjení baterie. Z těchto důvodů bylo nutné udělat další řadu měření, ve kterých byl vyňat interní akumulátor a celý gateway byl napájen z laboratorního zdroje Diametral L240R51D. Tímto způsobem bylo měřeno několik průběhů, kdy byly testovány kombinace režimu LP a STD a taky napájení přes svorky pro baterii a přes USB konektor.

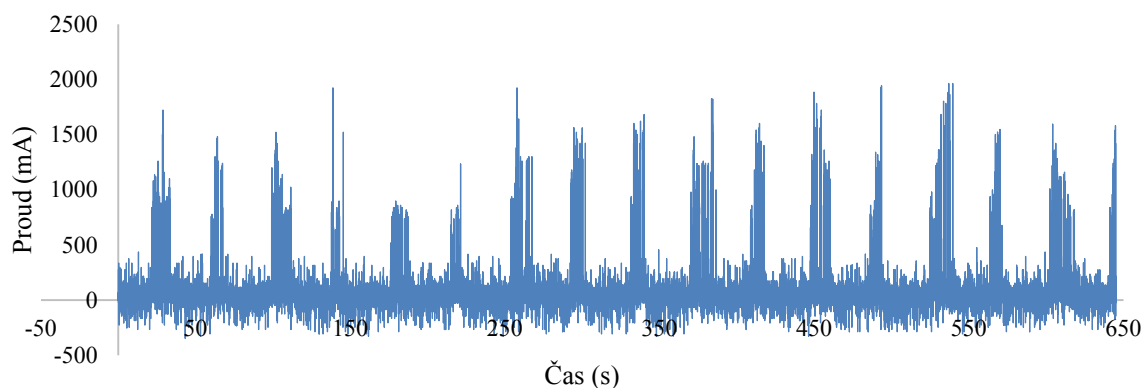
Ačkoli je hodnota rezistoru 1 ohm zdánlivě malá, ukázala se i tak jako nevyhovující právě kvůli své velikosti. Testováním se zjistilo, že pokud není v gatewayi připojeno přídavné napájení, ale provoz je zajištěn pouze záložní baterií, ke které je v sérii připojen zmíněný rezistor, zvětší se tím pádem i odpor celé napájecí větve a kvůli kontrolním obvodům gatewaye tak nedojde k jeho zapnutí. Z tohoto důvodu byl rezistor zaměněn za nižší o hodnotě 0,1 ohmů, kde je přepočítan opět velmi jednoduchý a zmíněný problém se zde již nevyskytuje.

Takto byla provedena další série měření a testování, kdy byly postupně několikrát vyzkoušeny provoz nejprve v STD režimu (jeho průběh je patrný na následujícím obrázku) a následně provoz v režimu LP.



**Obrázek 32: Průběh proudu při napájení v STD režimu při napájení na svorkách pro baterii**

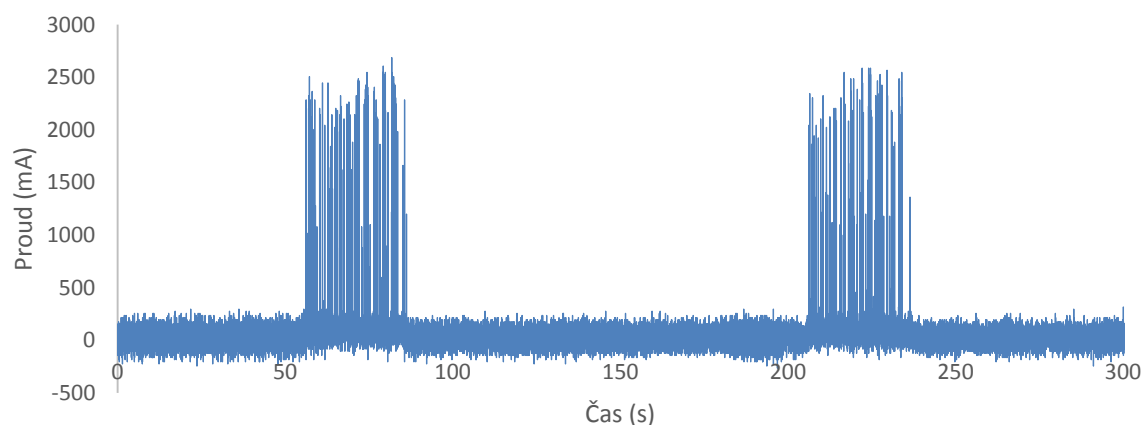
Při finálním měření v LP režimu, kdy v obvodu nebyla zapojena žádná baterie, která by vyrovnávala špičky nebo jinak ovlivňovala měření, byl naměřený průměrný proud roven 50mA při běžném provozu. V případě přijímání dat z jednotlivých měřicích míst a následně při vysílání hodnot na cloudové uložení převyšoval proud 1A, avšak pouze v několik impulsích, jak je možné vidět na následujícím obrázku. I když je ale proud při vysílání v LP režimu vysoký, stále je zde patrný znatelný úbytek oproti standardnímu režimu.



**Obrázek 33: Průběh proudu při napájení v LP režimu při napájení na svorkách pro baterii**

Při porovnání finálních průběhů a původního (viz obrázek 31), je možné si všimnout, že jednotlivé špičky při prvním měření dosahovaly podstatně nižších hodnot, čímž je ovšem potvrzen předpoklad vyrovnávání velkých odběrů interní baterií. Předpoklad, že při původním měření docházelo k dobíjení baterie, je možné si také ověřit faktem, že při posledních testech byl proud mezi vysíláním téměř třetinový oproti původním měřením.

Doposud provedené testy byly naměřené, když GSM gateway komunikoval se třemi nody. Dle předpokladů je ale energetická náročnost gatewaye vyšší, pokud je nodů více. Proto byly provedeny další testy s 9 nody.



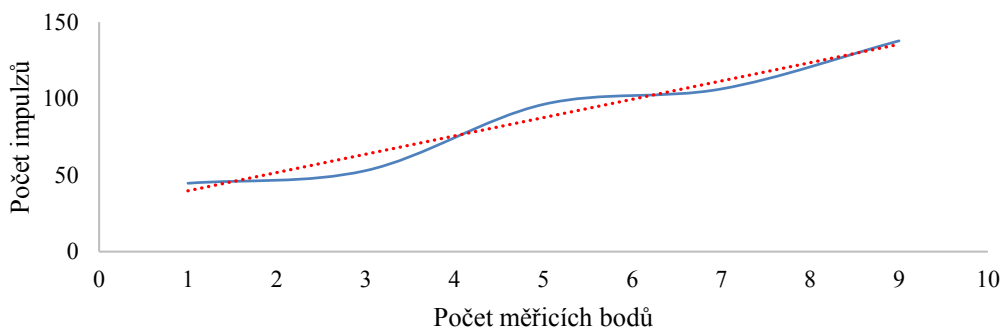
**Obrázek 34: Průběh proudu při napájení v LP režimu při komunikaci s 9 nody**

Potvrzení tohoto předpokladu je patrné již po zhlédnutí předchozího obrázku. Interval mezi vysíláním byl tentokrát roven 2 minutám. Doba vysílání je podstatně delší než u předchozích testů. Z grafu je možné vyčíst tuto dobu vysílání o velikosti přibližně 30s. U předchozích testů se třemi nody v LP režimu byla tato doba necelých 10s

Připojení na server, měření a odesílání dat v průběžích znázorňuje řada impulzů. Z logiky věci vyplývá, že čím větší bude počet uzlů, s kterými brána komunikuje, tím větší bude i počet impulzů. Na základě této myšlenky proběhla další řada měření s různým počtem připojených nodů (1, 3, 5, 7, 9). Všechna měření trvala 20 minut (s měřicí periodou 2 minuty) a došlo ke změření vždy desíti cyklů. Na základě těchto měření se určil průměrný počet impulzů v závislosti na počtu připojených měřicích bodů.

**Tabulka 16: Počet impulzů v závislosti na počtu připojených měřicích uzlů**

Počet nodů	Průměrný počet impulzů	Průměrná hodnota amplitudy (mA)
1	45	1555
3	53	1542
5	96	1476
7	106	1611
9	138	1664



**Obrázek 35: Závislost počtu připojených měřicích uzlů na počtu impulzů**

V případě proložení přímky předchozím průběhem a zjištěním jejího předpisu lze určit vztah, díky kterému lze určit průměrný počet impulzů po dosažení počtu měřicích bodů.

$$pocet\_impulzu = 11,9 \cdot pocet\_uzlu + 27,8 \quad (1.7)$$

Díky této znalosti a znalosti, že průměrný impuls má amplitudu 1570 mA a trvá 1 ms lze vypočítat energetickou náročnost systému podle jeho velikosti.



## 2.5 Instalace systému na důlním odvale Hedvika

Důlní odval nazvaný jako Hedvika se nachází na okraji Ostravy. Katastrálně zasahuje na území Radvanic a Michálkovic. Jedná se o bývalý důl J. Fučík.

V současné době je důlní odval stále aktivní, proto je důležité zde monitorovat právě teplotu a koncentraci nebezpečných plynů. Na těchto místech je postaveno několik hal, které zde slouží jako sklady. Z tohoto důvodu nesmí zmíněné fyzikální veličiny přesáhnout určitou mez. Pokud by se tak ale stalo, je nezbytně nutné, aby došlo k alarmním stavům a také adekvátním reakcím na ně. I když zde není umožněn přístup veřejnosti, pohybují se zde lidé pracující ve skladech, a tudíž je nutné zabránit újmě na zdraví například vlivem vysoké teploty či množstvím koncentrace oxidu uhelnatého vlivem stálého hoření odvalu.

Pro instalaci nodů pro měření veličin jsou okolo haly rozmístěny sondy zaražené do země, do kterých je možné zasunout měřicí čidlo. Měření probíhá v hloubce 3 m. Přes jednu zátku prochází anténa z důvodu lepšího dosahu IQRF nodu. Druhou zátkou prochází prostřednictvím průchodky kabel s měřicím čidlem DS18B20.



Obrázek 36: Měřicí sondy s teplotním čidlem DS18B20 připravené pro instalaci



**Obrázek 37: Sonda pro měření koncentrace oxidu uhelnatého**

Na důlním odvale Hedvika je rozmístěno aktuálně 5 sond pro měření teploty a jedna sonda pro měření koncentrace CO. Teplotní sondy jsou pomocí držáků připevněny k hale a teplotní čidla jsou spuštěna do trubek v zemi. Pouze sonda pro měření koncentrace CO je přilepena přímo v místě, odkud vychází plyn.



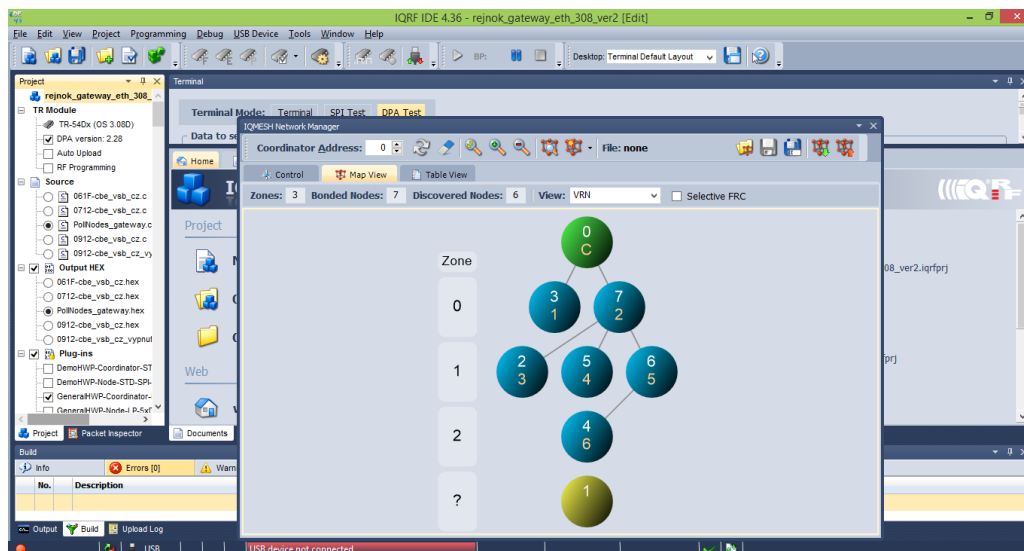
**Obrázek 38: Ukázka připevnění teplotní sondy na důlním odvale Hedvika**



**Obrázek 39: Ukázka připevnění sondy pro měření koncentrace CO na důlním odvalu Hedvika**

Po rozmístění všech měřicích sond bylo ještě potřeba prozkoumat síť pomocí tlačítka „Discovery“ v prostředí IQRF IDE. I přes veškerou snahu se však nepovedlo propojit všechny prvky IQRF sítě. Důvodem byl materiál, tedy železný plech, ze které byla hala postavena.

Z tohoto důvodu musel být použit ještě jeden nod s adresou 7, díky němuž byla z podstaty IQMESH sítě zajištěna fungující komunikace mezi všemi prvky sítě.



**Obrázek 40: Rozložení IQMESH sítě**



Obrázek 41: Rozmístění sond a GW okolo haly

Jak je možné vypořádat z předchozích dvou obrázků, rozložení IQMESH sítě není úplně ideální vzhledem k umístění jednotlivých měřicích sond. Takto vytvořená síť nemusí být úplně robustní. Dotazování nodů probíhá tzv. „zaplavováním“ a v případě propojení nodů pomocí „Discovery“ je odpověď očekávána pouze daným způsobem podle vytvořené IQMESH sítě. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno nové rozložení sítě, avšak tentokrát ne z prostředí IQRF IDE, ale na dálku pomocí příkazů zasílaných na bránu přes IQRF Cloud.

Samotné „Discovery“ se provádí pomocí krátkého příkazu v hexadecimální podobě, kdy nejdůležitější je správné nastavení posledních dvou dvoučíslí (2B). Poslední určuje maximální adresu, která se má vyhledávat a předposlední určuje vysílací výkon. Vysílací výkon je možné nastavit od nuly po 7, kdy 7 je nejvyšší vysílací výkon. Při prohledávání sítě není ale výhodné použít největší hodnotu vysílacího výkonu. To je z toho důvodu, že s nejvyšší pravděpodobností nastane obdobná situace, která nastala při prohledávání sítě přímo na důlním odvalu „Hedvika“. Dojde tím pádem k připojení i vzdálenějších měřicích bodů, což ovšem není zárukou k zajištění komunikace při běžném dotazování.

49	112166	12.4.2017 15:31:38	11.4.2017 15:31:23	Rx	9	00.00.00.87.0F.00.00.38.05	20365165	odpověď
50	44	12.4.2017 15:31:06	12.4.2017 15:31:08	Tx	8	00.00.00.07.FF.FF.05.07	Potvrzeno 20365138	dotaz

Obrázek 42: Ukázka z IQRF Cloudu - "discovery" - dotaz + odpověď

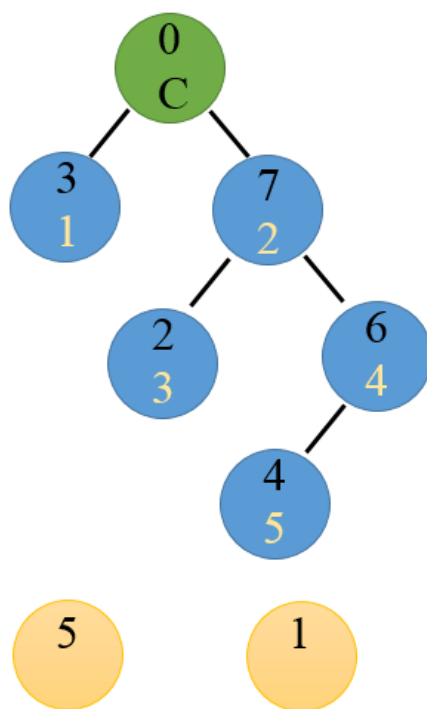
Z přijaté odpovědi je možné z posledního místa vyčíst počet nalezených nodů v hexadecimálním tvaru. Následujícím postupem je pak možné vytvořit mapu IQMESH sítě.

Vytvoření mapy sítě probíhá ve třech základních krocích, na základě kterých je pak vytvořena tabulka. Základ dotazu je vždy stejný a mění se pouze poslední byte. Pro zjištění jednotlivých VRN, neboli „VirtualRoutingNumber“, které odpovídají fyzickým umístěním nodů v síti, se zasílá dotaz ve tvaru 00.00.00.0A.FF.FF.20.

Poslední dotaz (00.00.00.0A.FF.FF.50) určuje tzv. „rodiče“ daných nodů, tedy určuje ten nod, na který je v nadřazené zóně napojený.

**Obrázek 43: : Ukázka z IQRF Cloudu - dotazy pro tvorbu mapy IQMESH sítě**

Význam dotazu	Dotaz	Nod 1	Nod 2	Nod 3	Nod 4	Nod 5	Nod 6	Nod 7
VRN	00.00.00.0A.FF.FF.20	00	03	01	05	00	04	02
Zóny	00.00.00.0A.FF.FF.40	00	02	01	03	00	02	01
Rodiče	00.00.00.0A.FF.FF.50	00	07	00	06	00	07	00



51

## 2.6 Zpracování a archivace dat

Po instalaci monitorovacího systému na důlním odvale Hedvika byla síť nastavena tak, že k dotazování nodů koordinátorem dochází s periodou 4h. Naměřené hodnoty jsou v rámci IQRF sítě zasílány do koordinátora (GW-GSM-02A), který se připojí na server a postupně pošle jednotlivé hodnoty do IQRF Cloudu.

Algoritmus, který zajišťuje vyčítání data z IQRF Cloudu, ověřuje, zda přišla všechna nebo zda nepřekračují určitou stanovenou mez, je psán ve skriptovacím jazyce PHP. Jazyk PHP je určen primárně především pro tvorbu dynamických webových stránek a zpravidla bývá kombinován, jak je tomu i v tomto případě, se značkovacím jazykem HTML.

Základem celé analýzy je soubor „iqrφ.php“, který právě zajišťuje vyčítání dat z IQRF Cloudu a následně jejich rozdělení podle času, adresy a také samotné hodnoty, kterou je potřeba vypočítat z příchozích dat, jak již bylo zmíněno výše.

Pro automatizované a pravidelné vyčítání dat z cloudu lze využít tzv. „softwarový démon“ Cron. Jedná se o plánovač, který běží na webovém serveru, a je nastaven, aby cyklicky spouštěl určitý skript či program. V případě tohoto systému je takto spouštěn právě zmíněný soubor.

Vyčítání hodnot z cloudu je prováděno jednoduchým příkazem, který je možné vyčíst z manuálu příslušící IQRF Cloudu. Tento příkaz může být ovšem různě modifikován či upraven.

Záleží, zda je potřeba vyčíst pokaždé stejný počet prvků od konce nebo vyčíst pouze nové a nevyčtené prvky. V tomto případě byla nejdříve využita první uvedená možnost, ale posléze se ukázalo, že výhodnější bude právě možnost uvedená na druhém místě. Důvodem tohoto rozhodnutí byl fakt, že pokud je možnost zajistit, aby data, která jsou z cloudu vyčítána, nebyla vyčítána podruhé, není potřeba ošetření opakovaného vyčtení ve skriptovacím jazyce PHP. Při zápisu do databáze jsou ale přesto data kontrolována, aby nedošlo k opětovnému zapsání stejné hodnoty do databáze. Další výhodou vyčítání vždy všech nových hodnot je fakt, že pokud by náhodou došlo k výpadku webového serveru, který zajišťuje funkčnost aplikace Cron, je potřeba následně vyčíst větší množství dat. Nikdy není ovšem předem známo, jak velké množství dat se bude vyčítat, pokud by k tomuto výpadku došlo, proto je nevýhodné vyčítání vždy fixního počtu dat.

Po vyčtení dat z cloudu jsou data rozdělena do jednotlivých polí, kdy jedno obsahuje všechny časy, další adresy nebo také hodnoty, ať už přepočtené či nepřepočtené. Data v polích jsou ponechány v pořadí, v jakém byly zasílány gatewayem. Adresy jsou pouze převáděny z hexadecimální soustavy do dekadické. Pro samotné hodnoty jednotlivých nodů jsou použity funkce na přepočet hodnoty v hexadecimální podobě na správnou teplotu, případně koncentraci oxidu uhelnatého. Jelikož je ve všech polích zachovááno stejné pořadí, je možné tedy použít cyklus, který bude procházet jednotlivé adresy a pokud narazí na ty, které přísluší IQRF nodům pro výpočet koncentrace oxidu uhelnatého, použije jinou funkci pro výpočet hodnoty. Pro lepší přehlednost a pro zabránění promíchání hodnot (přiřazení hodnot jiným časům) je pole s časem, pole s adresami a pole se samotnými přepočtenými hodnotami uloženo v jednom vícerozměrném poli.

Pokud by nastala situace, že přestane fungovat server se systémem Cron, a následně, po zprovoznění, by teda z cloudového uložště vyčetl více, jak jedno měření, je nutné rozdělit data podle jednotlivých měření.

Toto rozdělení je prováděno pomocí cyklu. Předtím je ale vytvořeno pole, jehož prvky vždy odpovídají rozdílu hodin mezi jednotlivými časy, jež jsou v daném poli vedle sebe. Cyklus pak prochází nově vzniklé pole s rozdíly hodin, a pokud je rozdíl roven nule či jedničce (jednička je připuštěna také,

jelikož může nastat situace, že měření proběhne na přelomu hodin, kdy část měření bude před celou hodinou a část až po ní), zapíše hodnoty časů a hodnot do nově vzniklých polí označených jako „pole2“ a „pole3“. Pokud by ale rozdíl hodin byl větší než hodnota 2, zapíše nově vzniklá pole do dalšího vícerozměrného pole a následně vymaže všechny prvky z prvního měření z polí „pole2“ a „pole3“. Celý cyklus se pak opakuje tak dlouho, než se všechny získané hodnoty rozdělí do příslušných měření.

Zápis hodnoty do „pole2“ a „pole3“ se provádí před porovnáním, zda je rozdíl hodin větší než dva. Je to z toho důvodu, že se vždy musí zapsat první hodnota a pak až se zjišťuje rozdíl hodin. Pokud by byl roven 0 či 1, je jasné, že i další hodnota tedy patří do tohoto měření a můžeme ji zapsat.

Aby došlo k uložení všech hodnot, je tedy potřeba po skončení cyklu zapsat ještě poslední hodnotu, který by jinak chyběla, když je zápis do nově vzniklých polí prováděn už před porovnáním rozdílů hodnot.

Jakmile jsou všechny hodnoty roztrženy podle jednotlivých měření, začnou se zapisovat do databáze v pořadí, v jakém byly změřeny. Před nahráním je vždy ještě zkontrolováno, zda jsou všechny prvky pole zaplněny a pokud ne, naplní daný prvek hodnotou „-333“, což označuje chybu (vzhledem k tomu, že pole v databázi připravené pro změřené hodnoty je typu float, není možné do něj zapsat nějaký znak nebo slovo vyjadřující chybu, proto je tato situace nahrazena nesmyslnou hodnotou).

Další kontrolou před nahráním do databáze je porovnání teplot a koncentrací oxidu uhelnatého s nastavenou mezní hodnotou. Pokud by došlo k překročení těchto mezních hodnot, je třeba na tuto situaci zareagovat (e-mail, SMS nebo třeba blikající LED ve vizualizační aplikaci).

Před samotným nahráním hodnot do MySQL databáze dojde ještě ke kontrole posledního prvku v databázi z důvodu zabránění opětovného nahrání stejného výsledku.

Po zapsání hodnot do databáze se ještě do proměnné „vycitani“ zapíše hodnota 1. Následně je zavolán soubor „vypis.php“.

Tento soubor je volán i z „iqr\_f\_vypis.php“, což je určeno přímo pro výpis hodnot na webové stránce. Před zavoláním onoho „vypis.php“ se ale tentokrát do proměnné „vycitani“ zapíše hodnota 0.

Při zavolání „vypis.php“ nejprve proběhne přihlášení na server, následně vyčtení posledních hodnot dané databáze z příslušných měřicích sond a poté dojde k porovnání proměnné „vycitani“, zda je její hodnota rovna 1.

Pokud by rovnost platila, jednalo by se o volání po proběhnutém měření a po zapsání hodnot do databáze. V tom případě proběhne kontrola všech posledních prvků databáze. Pokud by některý z nich byl roven hodnotě -333, jednalo se o chybu, a v tom případě se do databáze chyb napíše 0 k příslušnému senzoru. Pokud je hodnota jiná než chybová, zapíše se do databáze chyb k příslušnému senzoru hodnota 1. V případě zapsání 1 se současně do proměnné „cas“ zapíše datum, které přísluší danému nodu. Je to z toho důvodu, aby bylo známo měření, ke kterému patří daný řádek z databáze.

Další částí, která probíhá v případě rovnosti proměnné „vycitani“ s hodnotou 1 je reakce na alarmní stavy. Mezi tyto alarmní stavy patří především překročení teploty přes předem určenou hranici, překročení oxidu uhelnatého nebo zjištění absence hodnoty změřené určitou sondou během posledních šesti měření (vzhledem k tomu, že perioda, s kterou jsou hodnoty zasílány na IQR Cloud, je 4h, dojde ke zjištění poruchy sondy po 24 hodinách).

E-maily jsou zasílány pomocí jednoduché funkce „mail()“, kde se do závorky musí zadat na prvním místě příjemce, potom předmět mailu a následně zpráva e-mailu. Jako poslední nepovinný parametr funkce je odesílatel. Tato funkce funguje pouze v případě nahrání na webový server. Pokud je funkce použita na localhostu, musí být rozšířena i o další parametry, jako je port nebo SMTP (internetový protokol určený pro přenos elektronické pošty).



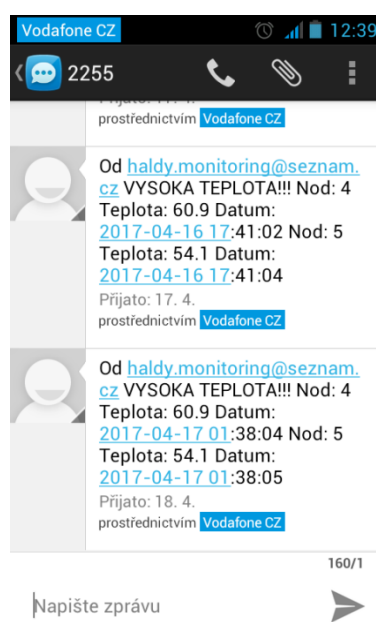
V případě zasílání SMS zpráv je využito stejné funkce, jako je pro odesílání e-mailů. Všichni tři operátoři ČR (Vodafone, T-Mobile, O2) podporují službu, že po krátké registraci je možné si aktivovat pro konkrétní telefonní číslo bezplatnou službu pro odesílání SMS prostřednictvím e-mailu. V případě užití operátora Vodafone, se při registraci musí zvolit uživatelské jméno, prostřednictvím kterého jsou zasílány e-maily na adresu ve tvaru „uzivatelskejmeno@vodafonemail.cz“. V případě užití operátora T-Mobile je situace velice obdobná, avšak namísto uživatelského jména se zadává telefonní číslo příjemce. Při aktivaci u provozovatele sítě je ještě nutné zadat alespoň jednu e-mailovou adresu, prostřednictvím které budou SMS zasílány. Adresa, na kterou se musí zprávy pomocí funkce „mail()“ zasílat, je ve tvaru „telefonni\_cislo@sms.t-mobile.cz“.

Pokud je využit třetí operátor České republiky, O2, je situace nejjednodušší. Stačí pouze zaslat e-mail na adresu „telefonni\_cislo\_vcetne\_predvolby@sms.cz.o2.com“.

Pro zasílání SMS zpráv prostřednictvím PHP ale existuje více způsobů. První zvažovaný způsob je použití placené služby „Xpay.cz“. Jedná se o velice elegantní způsob, kde postačuje pouze zadat seznam telefonních čísel, na které se má poslat SMS zpráva v případě jakéhokoliv alarmu.

Dalším způsobem je využití volných SMS bran. Zde ovšem nastává komplikace s nutností překonání Turingova testu CAPTCHA („completely automated public Turing test to tell computers and humans apart“). Jedná se o test ze strany serveru ve snaze o rozpoznání, zda se jedná o člověka či robot.

Po zvážení všech možností byla nakonec vybrána první možnost se zasíláním SMS zpráv prostřednictvím funkce „mail()“. Hlavními faktory pro tento výběr byla jednoduchost, bezplatnost a také dostatečnost pro tuto aplikaci. Vzhledem k tomu, že alarmní stavy budou vždy zasílány stejným osobám a seznam příjemců se tedy v zásadě nebude lišit, je zvolený způsob nejvhodnější.



Obrázek 45: Příklad alarmních SMS varujících na vysokou teplotu



## 2.7 Vizualizace naměřených dat

Pro vizualizaci naměřených dat slouží testovací web [enviro.vsb.cz](http://enviro.vsb.cz). Tato webová stránka vznikla za účelem testování při tvorbě systémů zabývajících se podobnou problematikou v rámci řešení úkolů VaV. Z tohoto důvodu nemusí být všechny odkazy objevující se na webové stránce relevantní.

Webové stránky jsou vytvořeny v jazyce HTML, kde funkční části jsou řešeny z velké části pomocí PHP, což již bylo vysvětleno výše.

Po zvolení položky „hedvika“ v menu v záhlaví stránky se zobrazí 2 tabulky, kdy jedna odpovídá všem teplotním nodům a druhá odpovídá nodům měřící koncentraci oxidu uhelnatého. V tabulkách se zobrazí vždy adresa nodu, poté datum, kdy došlo k poslednímu měření a jako poslední se zobrazí hodnota onoho posledního měření.

V případě, že dojde k určitému alarmnímu stavu, zobrazí se nad tabulkou vždy blikající výstraha s informací, u kterého nodu došlo k problému.

The screenshot shows the website [enviro.vsb.cz](http://enviro.vsb.cz) with the URL `enviro.vsb.cz/qrf_vypis.php` in the browser address bar. The page has a dark blue header with the logo "enviro" and the tagline "monitorování fyzikálně-mechanických a environmentálních věšin". Below the header is a navigation bar with links: "ochranné sítě a bariéry", "stabilita svahů a konstrukcí", "iot", "hedvika", "nabízíme", and "kontakt". On the left side, there is a sidebar menu with "aktuálně" and "qrf" sections. The "qrf" section is active, showing links for "Grafy" and "Rozmístění nodů". The main content area displays two tables. The first table, titled "Vysoká teplota u nodu 4" and "Vysoká teplota u nodu 5", shows temperature data for nodes 1 through 5. The second table, titled "Vysoká koncentrace u nodu 6", shows CO concentration for node 6. Both tables have a red exclamation mark icon next to the title, indicating an alarm state.

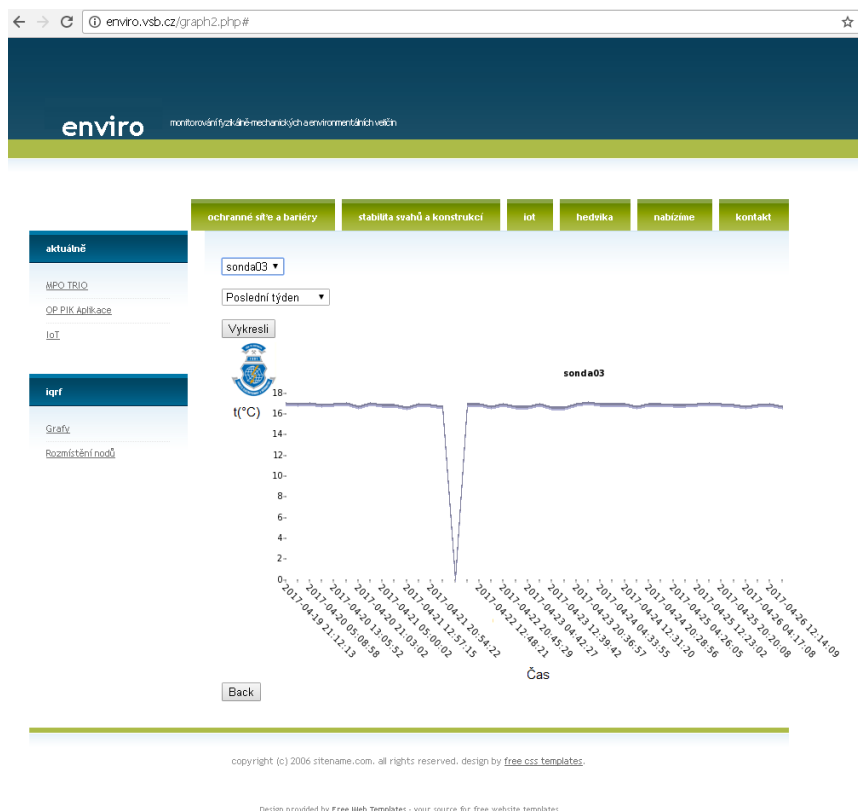
Označení nodu	Datum/čas	Teplota (°C)
1	---	---
2	2017-04-26 16:12:38	6.9
3	2017-04-26 16:12:39	16.6
4	2017-04-26 16:12:41	60.5
5	2017-04-26 16:12:42	53.1

Označení nodu	Datum/čas	Koncentrace CO (ppm)
6	2017-04-26 16:12:43	3

copyright (c) 2006 sitename.com. all rights reserved. design by [free css templates](#).  
Design provided by [Free Web Templates](#) - your source for free website templates

Obrázek 46: Ukázka webové stránky

Po otevření položky „hedvika“ v menu se v levé části stránky zobrazí ještě druhý sloupec, kde je možné si otevřít grafy s průběhy dané veličiny v závislosti na čase (v různých časových intervalech).



Obrázek 47: Ukázka vizualizace průběhů na webové stránce

Druhou položkou sloupce je „rozmístění nodů“, kde se na stránce zobrazí mapa místa, kde jsou nody fyzicky rozmístěny. Tato místa jsou označena červenou vlajčkou. Po kliknutí na jakoukoli vlajčku se zobrazí informace, o jaké zařízení se jedná (zda je to gateway nebo node – včetně jeho adresy).

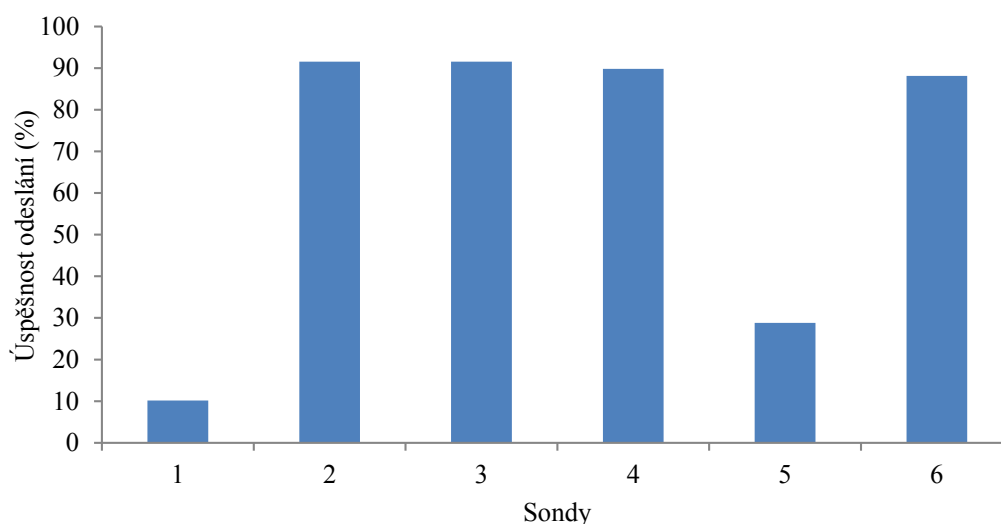
## 2.8 Analýza pilotního provozu

### 2.8.1 Analýza úspěšnosti přijetí dat na IQRF Cloud

Pilotní provoz monitorovacího systému byl zahájen 10.4.2017. Po dvanácti dnech byla provedena analýza funkčnosti monitorovacího systému a následně i analýza naměřených dat. Za dvanáct dní pilotního provozu bylo bránou přijato celkem 59 měření.

**Tabulka 18: Úspěšnost odesílání**

Sonda	Úspěšnost odesílání (%)
1	10,17
2	91,53
3	91,53
4	89,83
5	28,81
6	88,14

**Obrázek 48: Úspěšnost odesílání**

Analýzou pilotního systému se ukázalo, že ze sond číslo 2, 3, 4 a 6 byly odeslány naměřené hodnoty s úspěšností okolo 90%. Občasné výpadky mohou mít mnoho příčin. Výpadky jsou pravděpodobně způsobovány občasným zastíněním kvůli manipulačním pracím probíhajících v místech, kde je monitorovací systém nainstalován. Vzhledem k nepravidelnosti a nízké četnosti výpadků zmíněných sond je považován systém za funkční. Tento závěr lze podpořit také faktem, že ke změnám měřených veličin dochází pomalu vzhledem k frekvenci, s jakou probíhá měření.

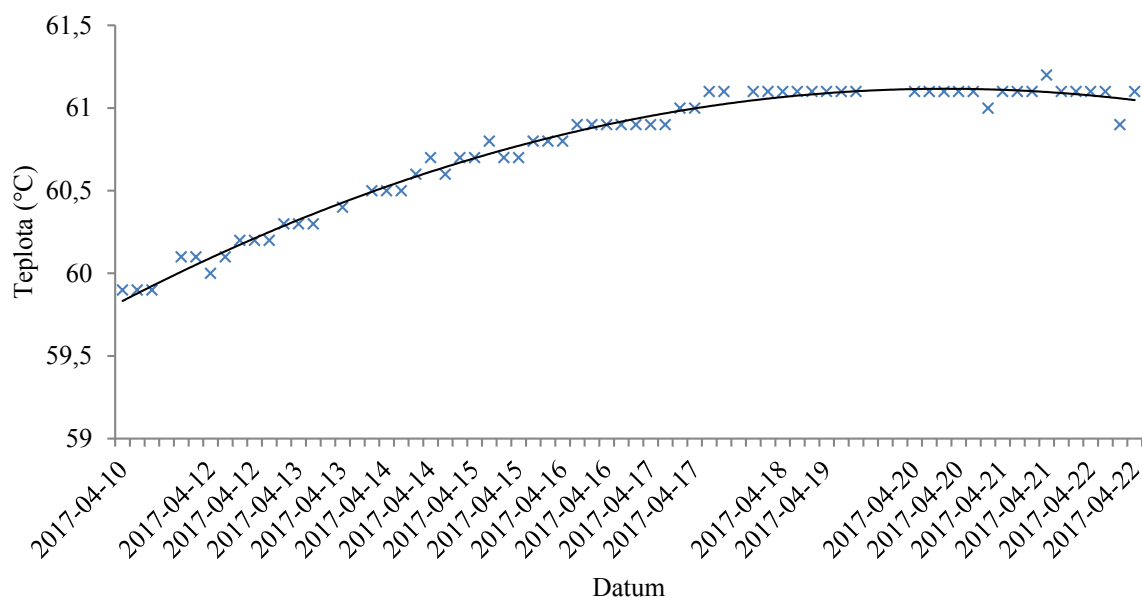
V případě sond číslo 1 a 5 je úspěšnost odesílání nízká. Během několikadenního testování systému v laboratoři se však tento problém neprojevil. Při testování v laboratoři byla ovšem vzdálenost mezi měřicími uzly do 10m. U modulu označeným adresou 1 je nízká úspěšnost odesílání způsobena nepřímou viditelností s vedlejším uzlem.

Možným řešením této situace je použití dalšího uzlu IQMESH sítě, který bude sloužit pouze pro přenos dat mezi vzdálenými měřicími body.

U sondy číslo 5 není možno exaktně z dosavadní analýzy pilotního provozu určit příčinu problému, což ale bude předmětem dalšího zkoumání.

## 2.8.2 Analýza naměřených dat

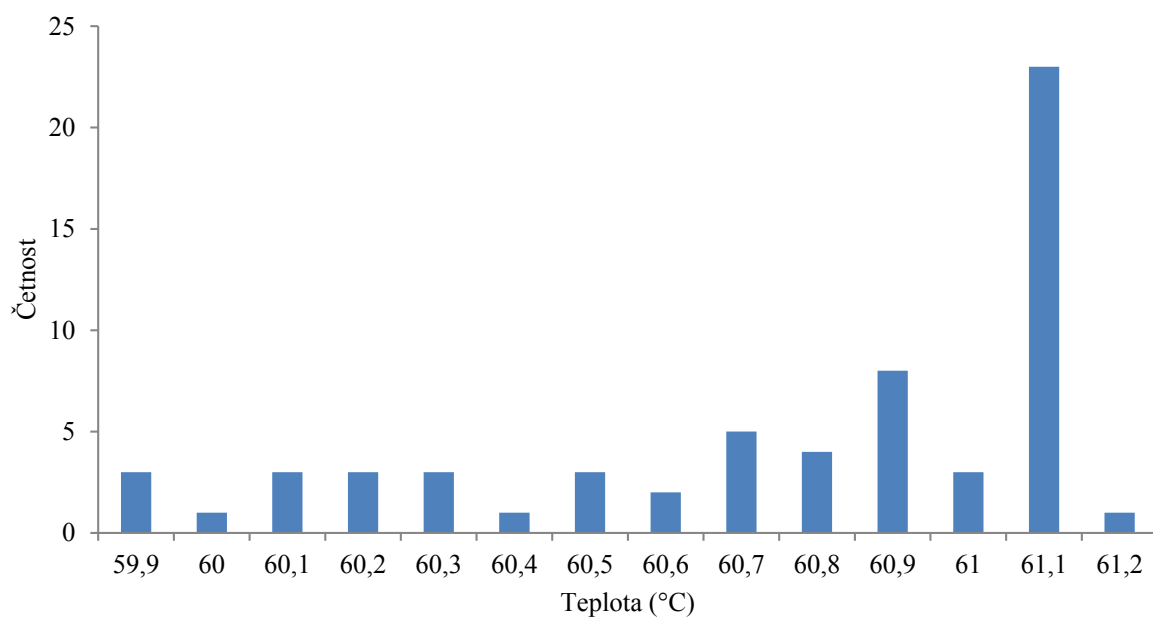
Pro demonstraci je uvedena analýza naměřených dat ze sondy číslo 4. Průměrná teplota v místě, kde je sonda 4 umístěna, je rovna 60,7 °C. Teplota však během pilotního provozu stoupla o více jak 1°C. Směrodatná odchylka měření odpovídající míře rozptýlení hodnot od střední hodnoty je rovna  $\pm 0,38$  °C.



Obrázek 49: Průběh měřené veličiny u sondy číslo 4

Tabulka 19: Četnost výskytu jednotlivých teplot o měřicího uzlu číslo 4

Teplota (°C)	Četnost
59,9	3
60	1
60,1	3
60,2	3
60,3	3
60,4	1
60,5	3
60,6	2
60,7	5
60,8	4
60,9	8
61	3
61,1	23
61,2	1



**Obrázek 50: Histogram četnosti zastoupení jednotlivých teplot při měření sondou číslo 4**

Z histogramu je patrné, že největšího zastoupení během pilotního provozu monitorovacího systému dosáhla teplota 61,1°C. Analýza dat ze zbylých sond je uvedena v příloze diplomové práce.

## Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh a praktická realizace IQMESH sítě pro monitorování teplot a koncentrace oxidu uhelnatého. Monitorovací systém zmíněných veličin je přizpůsoben měření v lokalitách zasažených důlní činností.

Pro instalaci monitorovacího systému byl vzhledem ke stále se vyvíjejícím termickým procesům vybrán důlní odval s názvem Hedvika nacházející se na okraji Ostravy.

V rámci řešení diplomové práce byl navržený systém sestavený z 5 modulů měřících teplotu pomocí čidla DS18B20 a 1 modulu sloužící pro měření koncentrace CO. Systém byl nejprve odzkoušen a otestován v laboratoři a až následně nainstalován na vybranou lokalitu.

V rámci řešení práce vyvstaly problémy s nízkou úspěšností přijetí naměřených dat u měřících uzlů označených čísly 1 a 5. U měřícího modulu označeným číslem 1 je malá úspěšnost odesílání způsobena nepřímou viditelností na vedlejší a taky nejbližší modul. Z toho důvodu se povede doručit jen zlomek poslaných hodnot naměřených senzorem.

U senzoru 5 se však nepovedlo během pilotního provozu vysvětlit příčinu nízké úspěšnosti odesílání. Analýza tohoto problémového stavu bude i nadále probíhat. Dle mého názoru může být problém způsobený například poškozením antény apod., jelikož při několikanásobném testování systému v laboratoři se problém neprojevil.

Výsledky diplomové práce najdou své praktické uplatnění v problematice monitorování důsledků termických dějů nejen na důlních odvalech.

Monitorovací systém má za cíl rozšířit stávající instalované systémy, které jsou založeny na drátovém přenosu dat. V následujícím období dojde také k rozšíření stávajícího řešení o další monitorovaná místa zasažená významným termickým procesem (teplota okolo 500°C).

Implementace monitorovacího systému na bázi IQRf technologie je naplánovaná i na důlní odval Ema. Zde je nutno vyřešit řadu negativních aspektů. K nejzávažnějším patří nutnost dobíjení akumulátoru pomocí solárních článků. Jelikož je lokalita volně přístupná veřejnosti, je zde velké nebezpečí vandalizmu a zcizení celého systému.

Vzhledem k potřebě zjištění energetické náročnosti proběhla analýza spotřeby IQRf brány v závislosti na počet měřících uzlů komunikující s ní. Po provedení velké řady testů se jeví, že závislost je lineární a je tak možný výpočet spotřeby ovlivněný počtem uzlů a periodou, s jakou dochází k měření. Zmíněný vztah lze využít k dopočtení doby, po kterou bude baterie schopna bránu napájet. V případě potřeby tak není problém navržení vhodného netradičního zdroje energie sloužící k dostatečnému dobíjení baterie a tak zajišťující trvalý provoz IQRf sítě.

Diplomová práce má také přínos pro další obdobné systémy díky aplikaci, které analyzuje a zpracovává data a v případě překročení stanovených limitů zajišťuje informování všech definovaných osob.

Při řešení práce byl sepsán manuál tvorby IQRf sítě, který má za cíl napomáhat i nezkušeným uživatelům s vytvořením IQRf sítě v prostředí IQRf IDE.

Dle mého závěru má technologie IQRf veliký potenciál nejen v oblasti měřících systému, ale obecně ve využití v přenášení nízko-objemových dat a tím velmi úzce související s rozvíjející se problematikou Industry 4.0.

Široké uplatnění technologie IQRf je také v rychle rozvíjející se oblasti IoT (Internet of Things), kde je díky svým výhodným vlastnostem považována za ideálním řešením pro řadu aplikací.

## Literatura

1. SPURNÁ, Ivona a Martin STROUHAL. ZÁKLADY VYUŽITÍ TECHNOLOGIE IQRF 1. část. *MICRORISC* [online]. 2015 [cit. 2017-04-25].
2. SPI Interface. *Corelis* [online]. Cerritos, California [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://www.corelis.com/education/SPI\\_Tutorial.htm](http://www.corelis.com/education/SPI_Tutorial.htm)
3. Bezdrátový přenos s IQRF: komunikační protokol DPA. *Root.cz* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/bezdratovy-prenos-s-iqrf-komunikacni-protokol-dpa/>
4. MAREŠ, Luděk. *Teplota a její měření* [online]. 2006 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
5. VOJÁČEK, Antonín. *Přehled principů el. měření teploty - 1. díl* [online]. 2014 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
6. DUBEC, Miroslav a Jaromír SKOTNICA. *Senzory a měření*. Ostrava, 2012. Učební text a návody do cvičení. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
7. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky*. [online]. [cit. 2014-10-07]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
8. VEREŠČÁKOVÁ, Aneta a Jan ŠTEFAN. *Otrava oxidem uhelnatým* [online]. Praha, 2010 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: [http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/wiki/vyuka/otrava\\_oxidem\\_uhelnatym](http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/wiki/vyuka/otrava_oxidem_uhelnatym). Studentský referát. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce MUDr. Josef Kolman.
9. KUBÍN, Josef. *Sběr a zpracování dat z distribuovaného systému bezdrátových senzorů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/60343/fi\\_m/dp.pdf](https://is.muni.cz/th/60343/fi_m/dp.pdf). Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Prof. Ing. Václav Přenosil, CSc.
10. WIRT, Tomáš. *Inteligentní teploměr* [online]. Brno, 2008 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6410](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6410). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.
11. *IQRF* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://iqrf.org/>
12. *VODIVOSTNÍ SENZOR PLYNŮ* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: [https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/09\\_vodivostni\\_senzory.pdf](https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/09_vodivostni_senzory.pdf)
13. KOLOUŠEK, Michal. *Žhavené polovodičové senzory pro měření koncentrace plynů*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Radovan Hájovský, Ph.D.
14. PIEŠ, Martin, Martin STANKUŠ a Michal KELNAR. *Projekt výzkumu a vývoje MPO č. FR-TI4/327: Dokumentace k modifikovaným verzím bezdrátových snímačů*. Ostrava, 2015.

## Seznam příloh na CD

- Příloha 1 – Návod pro tvorbu IQRF sítě – Priloha\_01.pdf
- Příloha 2 – Zpracovaná naměřená data pilotního provozu systému – Priloha\_02.xlsx
- Příloha 3 – Datasheet DS18B20 – Priloha\_03.pdf
- Příloha 4 – Datasheet TGS5042 – Priloha\_04.pdf
- Příloha 5 – Průběh proudu GW při napájení přes USB konektor – Priloha\_05.xlsx
- Příloha 6 – Průběh proudu GW při napájení v STD režimu – Priloha\_06.xlsx
- Příloha 7 – Průběh proudu GW při napájení v LP režimu – Priloha\_07.xlsx
- Příloha 8 – Průběh proudu GW při napájení – 9 nodů – Priloha\_08.xlsx
- Příloha 9 – Datasheet TR-54D – Priloha\_09.pdf
- Příloha 10 – Návod IQRF-Cloud – Priloha\_10.pdf
- Příloha 11 – Uživatelská příručka GW-GSM-02A – Priloha\_11.pdf
- Příloha 12 – Uživatelská příručka DK-EVAL-04A – Priloha\_12.pdf
- Příloha 13 – Měření pro kalibraci nodu pro koncentraci CO- zdroj proudu – Priloha\_13.xlsx
- Příloha 14 – Měření pro kalibraci nodu pro koncentraci CO- senzor – Priloha\_14.xlsx
- Příloha 15 – Změření energetické náročnosti GW – Priloha\_15.xlsx
- Příloha 16 – Webové stránky enviro.vsb.cz – Složka: Priloha\_16
- Příloha 17 – Analýza pilotního provozu systému – Priloha\_17
- Příloha 18 – Fotografie z měření a instalace – Složka: Priloha\_18